

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

**IMPACT DE LA GRANDE OIE DES NEIGES SUR LES MARAIS À SCIRPE DE
L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT, QUÉBEC**

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR
MARIANE GIRARD

NOVEMBRE 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement n°8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon directeur, Jean-François Giroux, pour son aide précieuse tout au long de mon étude. Un gros merci pour ses suggestions, sa confiance en moi et sa grande patience. Je remercie également Josée Lefebvre du Service Canadien de la Faune qui m'a permis de travailler sur ce grand projet. Merci beaucoup pour son aide et son support technique.

Je remercie tous les gens qui m'ont aidé sur le terrain avec l'échantillonnage du scirpe: Shirley Orichefski, Sébastien Paradis (vous êtes les premiers avec qui j'ai sué dans les marais), Mathieu Tremblay (sans qui je ne sais pas ce que je serais devenue), Francis St-Pierre, Olivier Barden, Denis Labonté, Patrick Labonté, Dominique Côté, Martine Benoit, Christian Marcotte et Danny Héon. Merci aussi aux gens de la Réserve Nationale de Faune du Cap Tourmente pour votre aide.

Je remercie également l'équipe de l'ISMER de l'Université du Québec à Rimouski pour leur aide précieuse avec les prélèvements des carottes de sédiments et l'analyse des échantillons de sol.

Je remercie le Service Canadien de la Faune ainsi que les Oiseleurs du Québec pour leur support financier au cours de ce projet.

Finalement, un merci tout spécial à ma chère maman pour sa confiance en moi inconditionnelle et pour ses encouragements dans mes grands moments de doute. Grâce à toi je suis passée à travers et je te dois ma réussite.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
RÉSUMÉ.....	xv
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1 Écologie des milieux humides du St-Laurent.....	1
1.2 Écologie du scirpe américain.....	3
1.2.1 Nomenclature.....	3
1.2.2 Facteurs biophysiques influençant la production sexuée.....	3
1.2.3 Facteurs biophysiques influençant la production végétale.....	4
1.2.4 Effet de la compétition et des herbivores sur la production végétale.....	6
1.3 Écologie de la Grande Oie des Neiges.....	6
1.3.1 Historique et répartition de la population.....	6
1.3.2 Impact du broutement des oies sur la productivité des marais à scirpe.....	7
1.4 Objectifs de l'étude.....	8
CHAPITRE II	
DESCRIPTION DE L'AIRE D'ÉTUDE.....	10
2.1 Localisation.....	10
2.2 Principales espèces végétales.....	10
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE.....	12
3.1 Échantillonnage de la végétation.....	12
3.1.1 Équations allométriques.....	12
3.1.2 Validation des équations allométriques.....	13

3.1.3	Relation de la biomasse aérienne et souterraine.....	13
3.2	Effet du broutement de la Grande Oie des Neiges.....	14
3.2.1	Protocole expérimental.....	14
3.2.2	Échantillonnage non destructif.....	15
3.2.3	Analyses statistiques.....	16
3.3	Effet des variables biophysiques.....	16
3.3.1	Hauteur des stations.....	16
3.3.2	Sédimentation.....	16
3.3.3	Granulométrie.....	17
3.3.4	Éléments nutritifs.....	17
3.4	Régression multiple.....	18

CHAPITRE IV

RÉSULTATS.....		19
4.1	Échantillonnages destructif et non destructif.....	19
4.1.1	Équations allométriques.....	19
4.1.2	Validation des équations allométriques.....	20
4.1.3	Relation de la biomasse aérienne et souterraine.....	20
4.2	Effet de la Grande Oie des Neiges.....	21
4.2.1	Scirpe américain.....	21
4.2.1.1	Densité des tiges.....	21
4.2.1.2	Hauteur des tiges.....	24
4.2.1.3	Biomasse aérienne.....	25
4.2.1.4	Biomasse souterraine.....	27
4.2.1.5	Zones chassées et non chassées.....	28
4.2.2	Sagittaire.....	29
4.2.2.1	Densité des plants.....	29
4.2.2.2	Hauteur des plants.....	31
4.2.2.3	Biomasse aérienne.....	32
4.2.3	Zizanie aquatique.....	34
4.2.3.1	Densité des plants.....	34

4.2.3.2	Hauteur des plants	36
4.2.3.3	Biomasse aérienne	37
4.2.4	Scirpe de Torrey	39
4.2.4.1	Densité des tiges	39
4.2.4.2	Hauteur des tiges	41
4.2.4.3	Biomasse aérienne	41
4.3	Variables biophysiques	42
4.3.1	Temps de submersion	42
4.3.2	Sédimentation	43
4.3.3	Granulométrie	44
4.3.4	Éléments nutritifs	44
4.4	Régression multiple	45
CHAPITRE V		
DISCUSSION		47
5.1	Échantillonnages destructif et non destructif	47
5.2	Facteurs influençant la croissance des principales macrophytes	49
5.2.1	Scirpe américain	49
5.2.2	Zones chassées et non chassées	55
5.2.3	Sagittaire	56
5.2.4	Zizanie aquatique	57
CHAPITRE VI		
CONCLUSION GÉNÉRALE		60
APPENDICE A		
CARTES		62
APPENDICE B		
SCIRPE AMÉRICAIN		67
APPENDICE C		
SAGITTAIRE		69

APPENDICE D	
ZIZANIE AQUATIQUE.....	71
APPENDICE E	
SCIRPE DE TORREY	73
BIBLIOGRAPHIE.....	74

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
 CHAPITRE III		
3.1	Schéma d'une station d'échantillonnage de la végétation du marais à scirpe utilisé à la RNF du Cap Tourmente, à Montmagny, à l'Île-aux-Grues et à Cap St-Ignace. Les lettres représentent les différentes mesures du dispositif d'échantillonnage des stations : A = 5 m, B= 2 m, C=50 cm, D= 25 cm.....	15
 CHAPITRE IV		
4.2.1.1	Densité (tiges/m ²) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	23
4.2.1.2	Hauteur (cm) des tiges du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	25
4.2.1.3	Biomasse aérienne (g/m ²) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	27

4.2.1.5	Biomasse aérienne (g/m^2) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les zones non chassées (NC) et chassées (C) des marais à scirpe de a) Cap Tourmente (2004 à 2007); b) Montmagny (2004 à 2007) et c) Cap St-Ignace (2005 à 2007).....	29
4.2.2.1	Densité (plants/m^2) de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	31
4.2.2.2	Hauteur (cm) des plants de sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	32
4.2.2.3	Biomasse aérienne (g/m^2) de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	33
4.2.3.1	Densité (plants/m^2) de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	36

4.2.3.2	Hauteur (cm) des plants de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	37
4.2.3.3	Biomasse aérienne (g/m ²) de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	39
4.2.4.1	Densité (tiges/m ²) du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	40
4.2.4.2	Hauteur (cm) des tiges du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	41
4.2.4.3	Biomasse aérienne (g/m ²) du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.....	42

CHAPITRE V

5.2.1.1	Densité (tiges/m ²) du scirpe américain dans le secteur de la Petite Ferme à Cap Tourmente dans les parcelles broutées; jumelage des données de Reed (1989), Lefebvre et <i>al.</i> (2000b) et notre étude (2007).....	50
5.2.1.2	Nombre d'oies-jours au printemps et à l'automne fréquentant le marais à scirpe de la RNF du Cap Tourmente, 1971-2008 (SCF, données non publiées).....	52

APPENDICE A

A.1	Localisation des quatre sites d'échantillonnage de la végétation (Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues) entre 2004 et 2007.....	62
A.2	Disposition des 16 exclos dans les deux zones (chasse (C) et repos (R)) à la Réserve nationale faunique de Cap Tourmente de 2004 à 2007 (gracieuseté du SCF).....	63
A.3	Disposition des 12 exclos dans les deux zones (chasse (C) et repos (R)) à Montmagny de 2004 à 2007 (gracieuseté du SCF).....	64
A.4	Disposition des 10 exclos dans les deux zones (chasse (C) et repos (R)) à Cap St-Ignace de 2005 à 2007 (gracieuseté du SCF).....	65
A.5	Disposition des 10 exclos (points verts) dans la zone de repos à l'Île-aux-Grues de 2005 à 2007 (gracieuseté du SCF).....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
 CHAPITRE IV		
4.1.1	Équations allométriques reliant la masse (M, g), la hauteur des tiges (H, cm) et le nombre de tiges par plant (T) pour les quatre principales espèces de macrophytes retrouvées à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	19
4.1.2	Facteurs de correction des équations allométriques reliant l'échantillonnage destructif (D) et l'échantillonnage non destructif (ND) pour les quatre principales espèces de macrophytes retrouvées dans les marais de Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues.	20
4.1.3	Équations reliant la biomasse aérienne (BA, g/ m ²) et la biomasse souterraine (BS, g/ m ²) des trois principales espèces de macrophytes retrouvées à Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues.	21
4.2.1	Résultats des ANOVA à mesures répétées comparant la densité et la biomasse aérienne et des analyses non paramétriques de Wilcoxon comparant la hauteur du scirpe américain entre les années pour les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	22
4.2.2	Résultats des analyses non paramétriques (Wilcoxon) entre les années de la densité, de la hauteur et de la biomasse aérienne de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	30

4.2.3	Résultats des analyses non paramétriques (Wilcoxon) entre les années de la densité, de la hauteur et de la biomasse aérienne de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).....	34
4.2.4	Résultats des ANOVA à mesures répétées comparant la densité et la biomasse aérienne et des analyses non paramétriques de Wilcoxon comparant la hauteur du scirpe de Torrey entre les années pour les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Montmagny (MT).....	40
4.3.1	Temps de submersion en pourcentage des marais de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), l'Île-aux-Grues (IG) et Cap St-Ignace (CSI).....	43
4.3.2	Accumulation de sédiment (cm) par jour à Cap Tourmente (du 6 juin au 23 août 2008), Montmagny (du 8 juin au 25 août 2008), Cap St-Ignace (du 8 juin au 31 août 2008) et l'île-aux-Grues (du 7 juin au 29 août 2008) dans les zones chassées et non chassées.....	43
4.3.3	Composition en argile, sable et limon des parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap St-Ignace, Cap Tourmente, Montmagny et Île-aux-Grues.....	44
4.3.4	Composition en phosphore ($\mu\text{mole/g}$) (inorganique, organique, total), en azote (%) et en carbone (%) des échantillons prélevés entre 8 et 10 cm dans le sol à Cap Tourmente dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoin).....	45
4.4	Résultats des régressions multiples pour Cap Tourmente et pour l'ensemble des quatre marais expliquant la variation de la production de scirpe américain mesurée dans les parcelles broutées en 2007.....	46

APPENDICE B

B.1	Densité (tiges/m ²) des tiges de scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).....	67
-----	---	----

B.2	Hauteur (cm) des tiges de scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	68
B.3	Biomasse aérienne (g/m^2) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	68

APPENDICE C

C.1	Densité (plants/m^2) des plants de sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	69
C.2	Hauteur (cm) des plants de sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	70
C.3	Biomasse aérienne (g/m^2) de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	70

APPENDICE D

D.1	Densité (plants/m^2) des plants de zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	71
D.2	Hauteur (cm) des plants de zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).	72

D.3	Biomasse aérienne (g/m^2) de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).....	72
-----	--	----

APPENDICE E

E.1	Densité (tiges/ m^2) des tiges de scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny (MT).....	73
E.2	Hauteur (cm) des tiges de scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny (MT).....	73
E.3	Biomasse aérienne (g/m^2) du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny (MT).....	73

RÉSUMÉ

La Grande Oie des Neiges (GON) est un oiseau migrateur qui fait halte dans les marais à scirpe américain (*Schoenoplectus americanus*) de l'estuaire du St-Laurent au printemps et à l'automne. Les oies s'y nourrissent principalement des rhizomes du scirpe. Depuis les années 80, la population connaît une croissance et des études réalisées dans les années 90 avaient montré que leur utilisation des marais dépassait la capacité de support du milieu. Afin d'évaluer si la situation s'était aggravée et pour bien caractériser l'effet du broutement des oies, un protocole expérimental, incluant l'établissement de parcelles permanentes et la pose d'exclos, a été mis en place dans quatre marais de l'estuaire : Cap Tourmente et Montmagny en 2004, l'Île-aux-Grues et Cap St-Ignace en 2005. Ces cages qui empêchaient les oies de brouter étaient installées avant leur arrivée au printemps et enlevées après leur départ à l'automne. À chaque été, un inventaire de la végétation a été fait dans les exclos et dans les parcelles témoins broutées. En utilisant des équations allométriques reliant la masse et la hauteur des tiges, la biomasse aérienne a pu être calculée pour chaque parcelle de façon non destructive. Ces équations allométriques ont été développées en 2007 et validées à l'aide d'un échantillonnage destructif. Suite à cette validation, des facteurs de correction ont été établis puisque l'échantillonnage non destructif surévaluait les biomasses aériennes réelles. Certains facteurs biophysiques ont également été étudiés au cours de 2007 dans tous les marais afin d'évaluer leur impact sur la biomasse: la sédimentation, le type de substrat, le temps de submersion et pour Cap Tourmente, les éléments nutritifs contenus dans les sédiments. La biomasse aérienne a augmenté significativement dans les exclos de tous les marais au cours de l'étude, tandis qu'elle n'a pas varié dans les parcelles témoins. Cette différence était attribuable surtout à l'augmentation de la densité des tiges et non à la biomasse des tiges individuelles dont la hauteur a peu varié dans le temps. Après quatre ans d'exclusion des oies, la biomasse aérienne était 104 et 128% plus élevée dans les exclos que dans les témoins à Cap Tourmente et Montmagny, respectivement. À Cap St-Ignace et à l'Île-aux-Grues, les différences étaient de 29 et 66%, respectivement, après trois ans d'exclusion. Il y avait une relation significative entre la biomasse aérienne et souterraine du scirpe ce qui indique que l'effet du broutement observé grâce à l'échantillonnage de la végétation aérienne a aussi un effet sur la biomasse souterraine qui contribue à l'alimentation des oies et à la production du scirpe. Finalement, les analyses de régression multiple ont montré qu'à Cap Tourmente, le phosphore organique et l'effet du broutement des oies étaient les deux variables explicatives de la variation de la biomasse aérienne du scirpe américain. Lorsque tous les marais étaient considérés, seul l'effet du broutement des oies expliquait la biomasse aérienne du scirpe. En conclusion, les résultats obtenus entre 2004 et 2007 confirment les différences observées au cours des années antérieures et montrent que les oies ont encore un impact sur les marais à scirpe. Elles maintiennent la productivité des marais à scirpe à un niveau faible par rapport à leur potentiel mais encore stable, comme observé par Giroux et Bédard (1987a) il y a plus de vingt ans.

Mots-clés : Grande Oies des Neiges, Scirpe américain, Sagittaire, Zizanie aquatique, marais, biomasse, productivité.

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 Écologie des milieux humides du St-Laurent

Au Québec, les milieux humides du Fleuve St-Laurent couvrent environ 80 000 ha. Ils servent d'habitats pour la faune qui les utilise pour s'abriter, se nourrir et se reproduire. Ils jouent également un rôle dans la protection des berges contre l'érosion grâce aux racines des plantes qui y poussent. Les milieux humides participent à l'épuration des eaux par l'absorption des métaux lourds grâce aux plantes aquatiques qui les emmagasinent dans leurs tissus. Les grandes étendues de végétation aquatique permettent de ralentir la vitesse de l'eau et de favoriser la sédimentation des particules présentes dans l'eau, ce qui inclut également les particules polluantes (Centre Saint-Laurent 1996). Malheureusement au cours des dernières décennies, la superficie des milieux humides a considérablement changé. L'origine des bouleversements est surtout anthropique. Dans les principales causes viennent en premier lieu les travaux de remblais (empiètement physique et infrastructures de transport), puis les activités agricoles, les aménagements résidentiels, la pollution du milieu aquatique et les centrales hydroélectriques (Bouchard et Millet 1993; Dryade 1981). Les travaux menés par Dryade (1981) ont montré que les milieux humides localisés entre Cornwall et Matane ont subi une perte d'environ 3640 ha entre 1945 et 1978. Bouchard et Millet (1993) ont résumé les données présentées dans les atlas cartographiques résultant des études de Marquis et *al.* (1991) et de Robitaille et *al.* (1988). Entre 1945 et 1988, ce sont 20 436 ha de milieux humides qui ont été modifiés dans la portion du Fleuve St-Laurent entre Cornwall et Havre-Saint-Pierre. Cependant, avec les efforts consentis depuis quelques années à la conservation des milieux humides, les nouveaux relevés réalisés en 2002 par des images satellitaires IKONOS montrent que la situation de ces milieux s'est quelque peu améliorée. Ainsi, une légère augmentation de la superficie des marais et des marécages (excluant les herbiers aquatiques) a été notée entre 1990-1991 et 2000-2002 entre Cornwall et Trois-Pistoles. Ils occupaient 28 228 ha en 1990-1991 et 28 992 ha en 2000-2002. Il faut par contre mentionner

que les résultats variaient selon la région, s'il y avait des gains importants dans l'estuaire fluvial et moyen, il y avait des pertes dans la région de Montréal-Longueuil et du lac St-Pierre (Jean et al. 2005).

Les plus grandes superficies des milieux humides se retrouvent dans la partie fluviale caractérisée par de l'eau douce et l'absence de marées. Ils totalisent près de 63 000 ha, soit 79% de tous les milieux humides du Fleuve St-Laurent (Gratton et Dubreuil 1990). Dans l'estuaire et le golfe, malgré une longueur de rive de plus de 4 000 km, on ne retrouve que 17000 ha de milieux humides. Cette rareté est principalement due au type de sol et à la salinité de l'eau. La composition végétale des milieux humides varie beaucoup selon la portion du Fleuve St-Laurent. Les marées, la salinité, la pente des rives, la nature du sol et la latitude sont les principaux facteurs responsables de cette grande variabilité (Gratton et Dubreuil 1990). La moitié de la flore vasculaire du Québec, soit environ 1300 espèces de plantes, serait présente dans un corridor d'un kilomètre de largeur de bord et d'autre du Fleuve St-Laurent. La plus grande diversité des communautés végétales se retrouve évidemment dans la partie fluviale, elle diminue progressivement dans l'estuaire et représente environ 22% des communautés du St-Laurent (Gratton et Dubreuil 1990). Les marais de l'estuaire sont principalement composés de communautés dominées par le scirpe américain (*Schoenoplectus pungens*) (Gratton et Dubreuil 1990). Les marais à scirpe occupent une très grande importance dans l'alimentation de la Grande Oie des Neiges (*Chen caerulescens atlantica*) lors de leurs passages migratoires. Plusieurs études ont aussi démontré le rôle du scirpe américain dans le recyclage des métaux lourds présent dans les eaux du fleuve (Gilbert 1990; Deschênes et Sérodes 1986). La distribution des marais à scirpe est somme toute très limitée avec seulement 5800 ha pour l'ensemble du Québec. Deux tiers (4000 ha) des marais à scirpe sont localisés en aval de Québec, soit dans la région de Cap Tourmente et Montmagny. Plus à l'ouest, environ 1000 ha de marais à scirpe se retrouvent sur les berges du Lac St-Pierre et autour des îles de Berthier-Sorel. La dernière région importante est située au sud de la baie de Rupert où 850 ha de marais à scirpe sont présents (Giroux 1991).

1.2 Écologie du scirpe américain

1.2.1 Nomenclature

Le nom scientifique du scirpe américain a connu plusieurs changements au cours des dernières années. En effet, on a longtemps désigné cette espèce sous le nom de *Scirpus americanus* Pers., alors qu'en fait *Scirpus americanus* Pers. était employé pour identifier le scirpe d'Olney (*Scirpus olneyi* A. Gray) (Schuyler 1974). Lorsque l'on parle du scirpe américain, on fait plutôt référence à *Scirpus pungens* Vahl., qui est une espèce tout à fait différente du scirpe d'Olney. Néanmoins, les développements récents basés sur la micromorphologie, l'embryologie et la biologie moléculaire ont amené les taxonomistes à réviser la nomenclature du genre *Scirpus* qui fait partie de la famille des Cyperaceae. Ainsi, ce genre a été divisé en sept genres distincts: *Blysmus* Panz., *Scirpus* L., *Bolboschoenus* (Rchb.) Palla, *Schoenoplectus* (Rchb.) Palla, *Scirpoides* Ség., *Isolepis* R.Br., et *Trichophorum* Pers. (Pignotti et Mariotti 2004). Alors *Scirpus pungens* est devenu *Schoenoplectus pungens* (M. Vahl) Palla (Smith 1995) et c'est cette terminologie que nous utiliserons dans le cadre de ce mémoire.

1.2.2 Facteurs biophysiques influençant la reproduction sexuée

Le scirpe peut se reproduire de façon végétative par rejets des rhizomes ou de façon sexuée par graines (Giroux 1991). Dans chaque achaine, une seule graine est présente. Contrairement à *Schoenoplectus robustus* qui produit un grand nombre de graines et qui a un taux élevé de germination lui conférant ainsi une plus grande facilité à se remettre du broutement des rhizomes par les oies (Smith et Odum 1981), moins de 1% des plantules de *S. pungens* dans les marais de l'estuaire du St-Laurent proviennent de la germination d'une graine (Giroux et Bédard 1987a). Trois facteurs peuvent influencer la reproduction sexuée : 1) la production de graines, 2) le taux de germination et 3) la survie des semis (Giroux 1991). Lorsque *S. pungens* est brouté par les oies, la proportion de tiges produisant des inflorescences est réduite. Cela suggère que les plantes subissant le broutement investissent moins d'énergie à la production de graines et donc moins d'énergie dans la reproduction

sexuée (Giroux et Bédard 1987a). La salinité joue également un rôle sur la production des graines et la germination. Il appert que la banque de graines est plus petite au fur et à mesure que la salinité augmente (Leck 1989). D'autres études menées en serre ont montré que l'augmentation du taux de sel dans l'eau inhibait la germination et l'émergence chez certaines plantes comme *Juncus gerardi* (Shumway et Bertness 1992), *S. pungens* (Palmisano 1971) et *S. robustus* (Dietert et Shontz 1978). Ceci pourrait expliquer la reproduction sexuée plus forte à Montmagny qu'à Cap St-Ignace (Giroux 1991; Giroux et Bédard 1995) puisque les concentrations en sodium dans l'eau étaient plus élevées à Cap St-Ignace qu'à Montmagny (Deschênes et Sérodes 1985).

Les sédiments jouent également un rôle dans la germination. Lorsque l'épaisseur de la couche de sédiments varie entre 0.25 et 2.0 cm, la germination s'en trouve diminuée (Hartleb et al. 1993; Jurik et al. 1994; Wang et al. 1994). Par contre, il n'est pas encore connu si les sédiments agissent comme une barrière physique à l'émergence ou s'ils réduisent le taux d'oxygène, la lumière ou la température (Giroux et Bédard 1995). De plus, les trous faits par les oies lors des fouilles pour trouver les rhizomes se remplissent de sédiments, ce qui semble moins favorable pour la germination et l'établissement de *S. pungens*. Par contre, ces dépressions remplies de sédiments liquides offrent des conditions de germination idéales pour la zizanie aquatique (*Zizania aquatica*) (Giroux et Bédard 1987a; Bélanger et Bédard 1994b). À l'inverse de *S. robustus* (Smith et Odum 1981), *S. pungens* ne répond pas au broutement de ses parties souterraines en augmentant son taux de reproduction sexuée (Giroux et Bédard 1995).

1.2.3 Facteurs biophysiques influençant la production végétale

Plusieurs facteurs peuvent influencer la production végétative du scirpe américain. D'abord il y a des facteurs abiotiques incluant le type de substrat, l'accumulation de sédiments, le temps de submersion et la salinité. Giroux et Bédard (1988a) ont obtenu des phytomasses aériennes et souterraines de scirpe plus élevées dans les communautés végétales établies sur un substrat sablonneux. Des résultats similaires étaient obtenus sur la côte du Pacifique où Hutchinson (1982) a mesuré des biomasses de scirpe plus élevées sur les sites

composés entre 45 et 70% de sable. Comme le sable permet un meilleur drainage, le sol s'en trouve plus compacté et donc les oies ont plus de difficulté à creuser dans ce genre de substrat (Giroux 1991).

Une plus grande accumulation de sédiments favorise aussi une plus grande production de *S. pungens* (Giroux et Bédard 1987b) car les sédiments du St-Laurent sont riches en éléments comme le phosphore et l'azote (Deschênes et Sérodes 1986). Les travaux menés par Gilbert (1990) sur les battures de Beauport ont montré que les quantités d'azote et de phosphore dans la zone d'enracinement subissaient une baisse importante surtout durant la période de croissance et de floraison du scirpe. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'accumulation de sédiments : la morphométrie des marais, les courants des marées et la végétation présente. La pente et le marnage vont aussi influencer directement les temps d'inondation et d'exondation et par conséquent, la largeur de la bande occupée par la végétation (Sérodes 1980). La présence de la végétation durant l'été favorise aussi l'accumulation puisqu'elle retient les sédiments avec les feuilles et les tiges (Sérodes et Troude 1984; Yang 1998). Le type de plantes se retrouvant dans les marais pourrait être un facteur plus important encore puisque la sédimentation est directement reliée à la hauteur qu'atteignent ces plantes (Sérodes 1980). Le niveau de l'eau affecte également l'accumulation des sédiments, puisque plus le niveau est élevé, plus la densité des tiges est faible (Auclair et al. 1976).

L'élévation et par le fait même le temps de submersion jouent un rôle dans la distribution de la végétation des marais (Chapman 1938, Hinde 1954, Disraeli et Fonda 1979, Hutchinson 1982). Une augmentation du temps de submersion fait en sorte d'accroître la production d'éthylène, une hormone qui inhibe la croissance des plantes et favorise la production d'aerenchyme (Seliskar 1988). Le scirpe est une macrophyte qui pousse aussi bien en eau douce qu'en eau saumâtre, mais la salinité aura un effet considérable sur le temps de submersion que la plante pourra supporter. À Montmagny, la salinité est plus faible, le scirpe peut supporter jusqu'à 75% du temps de submersion, tandis qu'à Cap Tourmente, là où la salinité est deux fois plus élevée qu'à Montmagny, le scirpe ne peut supporter plus que 37% du temps de submersion (Deschênes et Sérodes 1985).

1.2.4 Effet de la compétition et des herbivores sur la production végétale

Les facteurs biotiques qui peuvent influencer la croissance du scirpe américain dans l'estuaire du St-Laurent incluent la présence de plantes compétitrices et l'effet des herbivores. Giroux et Bédard (1987b) n'ont obtenu aucun résultat démontrant que la production de *S. pungens* était affectée négativement par la croissance d'autres espèces végétales telles que *Zizania aquatica*, *Sagittaria* spp., *Schoenoplectus torreyi* ou *Eleocharis* spp. dans les marais de Montmagny et de Cap St-Ignace.

La présence d'herbivores peut grandement affecter la population végétale présente dans les marais en modifiant sa richesse, son abondance relative et sa structure spatiale (Crawley 1983). En s'alimentant des graines ou des fruits d'une plante, les herbivores contribuent à la dispersion de l'espèce végétale et augmentent par le fait même sa richesse. L'effet du broutement peut également avoir un impact sur la structure de la communauté végétale présente. Les herbivores s'alimentant des parties souterraines d'une plante diminuent grandement la fécondité de celle-ci, car ils contribuent à diminuer l'apport en eau et en nutriments (entre autres les glucides) pour la production des graines (Crawley 1983). Certains herbivores peuvent aussi modifier l'habitat et ainsi avoir un effet indirect sur la survie des communautés végétales, par exemple, en creusant dans le sol à la recherche des racines, les herbivores peuvent altérer la composition du sol ou la modifier mettant en péril la survie de la plante (Crawley 1983).

1.3 Écologie de la Grande Oie des Neiges

1.3.1 Historique et répartition de la population

Au milieu des années 1960, les recensements printaniers réalisés au Québec estimaient la population de la Grande Oie des Neiges à 25 000 individus (Reed et al. 1998). Avec les mesures de protection, cette population a connu une croissance annuelle d'environ 9% (Gauthier et Brault 1998). Au milieu des années 70, la population s'était stabilisée grâce à la réouverture de la chasse aux États-Unis, mais après 1984, une diminution du taux de récolte

par la chasse a permis à la population de s'accroître à nouveau (Menu et *al.* 2002). En 1999, la population avait pratiquement atteint 1 000 000 d'individus et des mesures de contrôle ont alors été adoptées (Gauthier et *al.* 2005). On a observé une baisse des effectifs au cours des années suivantes, mais récemment la population a connu à nouveau une augmentation puisque les observations faites par le Service Canadien de la Faune (SCF) en 2008 ont permis de l'estimer à 1 004 000 oiseaux (Lefebvre 2008, données non-publiées).

Les patrons de migration des oies ont aussi considérablement changé ces dernières années. À venir jusque vers les années 60, les oies se concentraient seulement dans l'estuaire moyen du St-Laurent, mais au début des années 70, les oies ont d'abord étendu leurs aires de repos vers l'est, dans le bas estuaire. On les retrouve maintenant plus à l'ouest dans l'estuaire fluvial qui a connu une hausse de la fréquentation par les oies de 13 % et ce taux a continué d'augmenter depuis les années 90. On les retrouve aussi autour du lac St-Pierre depuis les années 80, mais leur présence a augmenté de 51% depuis 1997 (Gauthier et *al.* 2005). Elles y fréquentent surtout les champs de maïs. Globalement, les dates d'arrivée au printemps ont également changé et les oies restent plus longtemps au Québec qu'avant (Gauthier et *al.* 2005).

1.3.2 Impact du broutement des oies sur la productivité des marais à scirpe

Lors de leur passage printanier et automnal dans les marais de l'estuaire du St-Laurent, les oies consomment surtout les rhizomes du scirpe américain qui comptent pour 75% de leur diète (Gauthier et *al.* 2006). Les travaux de Giroux et Bédard (1987a), qui ont utilisé des exclos pour empêcher les oies de s'alimenter à Montmagny et Cap St-Ignace, ont montré une différence de 62% et de 28%, respectivement au niveau de la production primaire du scirpe entre les parcelles broutées et non-broutées. Quoiqu'il en soit, la biomasse aérienne dans les parcelles broutées était stable dans les deux sites, ce qui a amené Giroux et Bédard (1987a) à conclure que les oies maintenaient le système à un niveau faible de production par rapport à leur potentiel, mais que le système semblait en équilibre. Bélanger et Bédard (1994a) ont suggéré que cet état d'équilibre résultait du fait que les oies changeaient de sites d'alimentation à l'intérieur même d'un marais aussitôt que les jeunes pousses de scirpe

devenaient disponibles. Les résultats d'un échantillonnage réalisé en 1999 à Montmagny et Cap St-Ignace ont appuyé cette conclusion (Lefebvre et *al.* 2000a). À Cap Tourmente, une étude à long terme a été initiée en 1971 pour suivre l'évolution de la production du marais à scirpe (Reed 1989). Les variations annuelles de la densité de tiges étaient très importantes ce qui pourrait être expliqué par des conditions variables de croissance durant l'été (Giroux et Bédard 1987a). Néanmoins, la densité des tiges de scirpe a diminué de plus de 40% durant les 35 dernières années malgré le fait que le nombre d'oies fréquentant la réserve de Cap Tourmente ait diminué (Giroux et *al.* 1998; Lefebvre et *al.* 2000b; Lefebvre, données non publiées). Cette baisse pourrait être attribuée aux conditions de croissance des plantes, à l'utilisation répétée des marais par les oies ou au deux, les données disponibles ne permettant pas de discerner l'effet respectif de ces deux facteurs (Lefebvre et *al.* 2000b).

Dans certains marais de l'estuaire, il y a des zones où la chasse est permise et d'autres où elle est interdite. Giroux et Bédard (1987a) avaient trouvé des différences significatives entre ces zones à Montmagny, la biomasse aérienne étant plus élevée dans les zones où la chasse était permise que dans les zones de chasse interdite où les oies se concentraient. D'ailleurs à Montmagny, la chasse était la variable expliquant le mieux l'utilisation du marais par les oies à l'automne. Au printemps, les oies sont moins concentrées qu'à l'automne, elles fréquentent les zones où les biomasses souterraines de scirpe sont plus abondantes, ce qui correspond aux zones de chasse automnale. Durant le jour à l'automne, les oies se rassemblent dans les aires de repos où la chasse est interdite et elles ne fréquentent les aires de chasse que durant la nuit (Giroux et Bédard 1988b). Plus récemment, l'ouverture de la chasse printanière dans les terres agricoles a possiblement contribué à repousser les oies vers les marais, ce qui a eu pour effet d'augmenter la pression de broutement sur le scirpe américain (Lefebvre et *al.* 2000a).

1.4 Objectifs de l'étude

Le principal objectif de ce travail était premièrement de poursuivre les travaux amorcés dans les années 80 sur l'impact du broutement de la Grande Oie des Neiges (GON) sur la production annuelle des marais à scirpe de l'estuaire du St-Laurent. Deuxièmement, la présente étude avait également pour but de vérifier l'hypothèse avancée par Giroux et Bédard

(1987a) selon laquelle les oies maintenaient la productivité des marais à scirpe de la rive sud à un niveau stable mais faible (*low-level steady state* de Noy-Meir (1975)) et à laquelle Bélanger et Bédard (1994a) avaient apporté certaines explications reliées tant à la dynamique des marais qu'au comportement des oies. Pour ce faire, nous avons tiré profit d'un projet initié par le SCF en 2004. Puisque le suivi à long terme initié par Reed (1989) à Cap Tourmente ne permettait pas de séparer l'effet des oies des autres variables, des exclos semi-permanents ont été mis en place afin d'expliquer la baisse de la production de scirpe. Trois autres marais ont aussi été choisis pour évaluer l'effet global des oies à l'aide d'exclos. Ces marais incluaient ceux de Montmagny, de Cap St-Ignace et de l'Île-aux-Grues. La production végétale du marais de l'Île-aux-Grues n'avait jamais été évaluée même si ce site accueille 12% des effectifs de la Grande Oie des Neiges (Limoges 2001). Partout sauf à l'Île-aux-Grues, les exclos ont été installés dans des zones de chasse et des zones non chassées. En plus de bénéficier des données annuelles recueillies par le SCF, nous avons développé des équations allométriques reliant la masse et la hauteur des tiges afin de pouvoir suivre la production aérienne dans les parcelles permanentes sans avoir à récolter la végétation. Nous avons aussi procédé à la validation de ces équations par un échantillonnage destructif en développant au besoin des facteurs de correction. Par la suite, des relations statistiques reliant la biomasse aérienne et souterraine ont été établies afin de suivre l'évolution de la végétation souterraine qui sert de nourriture aux oies. Finalement, nous avons étudié l'effet de certaines variables biophysiques sur la production du scirpe en les intégrant à l'estimation de l'utilisation des marais par les oies.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DE L'AIRE D'ÉTUDE

2.1 Localisation

Les travaux ont été amorcés par le SCF en 2004 dans les marais de Montmagny et de la Réserve Nationale de Faune (RNF) du Cap Tourmente, puis en 2005 dans ceux de l'Île-aux-Grues et de Cap St-Ignace et se sont poursuivis à chaque année jusqu'en 2007 (App. A, Fig. A.1). La RNF du Cap Tourmente est située à environ 50 km à l'est de la ville de Québec sur la rive nord du Fleuve St-Laurent (47° 04'N, 70° 47'O). La superficie du marais intertidal est étendue sur environ 218 ha. Le marais à scirpe de Montmagny et de Cap St-Ignace sont situés sur la rive sud de l'estuaire moyen du St-Laurent à environ 70 km de la ville de Québec (47° 00'N, 70° 35'O et 47° 02'N, 70° 28'O) (Giroux et Bédard 1988a). Ensemble, ces deux marais ont une superficie d'environ 443 ha (Hamelin 1991). L'Île-aux-Grues fait partie de l'Archipel de l'Isle-aux-Grues, qui comprend un total de 21 îles et îlots. L'Île-aux-Grues est la plus grosse des îles et elle est située à 8 km de la rive sud (47° 06'N, 70° 31'O), juste au nord de Montmagny, dans la section amont de l'estuaire moyen du St-Laurent (Limoges 2001). La section du bas marais entre l'Île-aux-Grues et l'Île-aux-Canots couvrent environ 300 ha (Allard 2008).

2.2 Principales espèces végétales

Les marais intertidaux de l'estuaire moyen sont soumis à des marées semi-diurnes d'une amplitude variant entre 4 et 6 m provoquant ainsi une zonation de la végétation. La partie supérieure des marais (20 à 100 m) est surtout dominée par *Spartina pectinata* Link. et *Carex paleacea* Wahl. et se retrouve submergée par les marées d'équinoxe seulement. La partie inférieure d'une largeur d'environ 200 à 1800 m est composée surtout de scirpe américain, de zizanie aquatique et de sagittaire (surtout *Sagittaria latifolia*) dans la première moitié de cette partie (Giroux et Bédard 1987a). Dans les marais de la rive sud, comme à Montmagny et

Cap St-Ignace, le scirpe de Torrey (*Schoenoplectus torreyi*) est aussi présent (Giroux et Bédard 1988a) tout comme à l'Île-aux-Grues (M. Girard, obs. pers.). La seconde moitié de la partie inférieure est dénudée de végétation. Le régime sédimentaire dans les marais de l'estuaire du St-Laurent a été étudié par Sérodes et Troude (1984). Dans la deuxième moitié de juin, la croissance des plantes est très rapide et l'accumulation de sédiments très fins progresse de façon régulière à raison de 2 mm par jour jusqu'en juillet pour atteindre une épaisseur entre 10 et 30 cm. Durant l'hiver, une épaisse couche de glace de 1 m à 1,5 m recouvre la surface des marais et au printemps, lors du départ des glaces, toute la végétation restante est complètement arrachée et la topographie même des marais change (Giroux et Bédard 1987a; Bélanger et Bédard 1994b).

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Échantillonnage de la végétation

3.1.1 Équations allométriques

Pour évaluer l'impact du broutement des oies sans altérer l'intégrité des marais, nous avons déterminé la biomasse aérienne et souterraine des plantes de façon non destructive. Nous avons d'abord établi des équations allométriques afin de déterminer la relation existant entre la hauteur des tiges et la masse selon les espèces. Nous avons mesuré 20 tiges de scirpe et 20 plants de sagittaire et de zizanie dans chacun des marais à l'été 2007, puis les avons récoltés en les coupant au ras du sol. Nous les avons ensuite lavés, séchés à 70° C jusqu'à l'atteinte d'un poids constant (48 h) et pesés.

Pour déterminer la relation entre la hauteur des tiges et la masse du scirpe, nous avons utilisé des régressions linéaires simples. Nous avons d'abord transformé les données de hauteurs et de masses en logarithmes puisqu'il s'agissait de paramètres de croissance. De plus, nous avons appliqué une correction aux équations de régression pour éliminer le biais résultant de la transformation logarithmique (Baskerville 1972). Pour la sagittaire, nous avons appliqué la même méthode alors que pour la zizanie, nous avons utilisé des régressions multiples pour trouver la relation entre la hauteur des plants, le nombre de tiges et la masse. Finalement, nous avons comparé les équations allométriques entre les marais avec des ANCOVA.

3.1.2 Validation des équations allométriques

Nous avons validé l'utilisation des équations allométriques pour estimer la biomasse à partir de la hauteur des tiges en effectuant un échantillonnage destructif. À l'été 2007, deux quadrats de 25 x 25 cm ont été faits à chaque station dans les quatre marais (voir description à 3.1.1) à l'extérieur des placettes échantillons (N= 96 quadrats). Dans un premier temps, nous avons dénombré les tiges de scirpe et les plants de sagittaire ainsi que les plants et le nombre de tiges par plant de zizanie. Dans un deuxième temps, nous avons mesuré toutes les tiges jusqu'à un maximum de 10 tiges de scirpe et 10 plants de zizanie et de sagittaire. Ces données ont permis d'estimer la biomasse aérienne à l'aide des équations allométriques. Finalement, nous avons coupé la végétation au ras du sol à l'intérieur des quadrats, puis l'avons lavée et triée par espèce en séparant les parties mortes (brunes) et vivantes (vertes). Nous avons mis les plantes à sécher à 70° C pendant 48 h (poids constant) pour finalement les peser. Nous avons comparé la biomasse estimée de manière non destructive aux données obtenues par la méthode destructive avec des tests de t appariés. Nous avons développé des facteurs de correction pour améliorer les estimations, lorsque nécessaire, à l'aide de modèles de régression linéaire simple.

3.1.3 Relation de la biomasse aérienne et souterraine

Nous avons réalisé l'échantillonnage destructif de la partie souterraine en prenant des carottes à l'aide d'un cylindre d'acier de 10 cm de diamètre et de 40 cm de long. Nous avons prélevé une carotte au centre des mêmes quadrats que ceux utilisés pour l'échantillonnage destructif des parties aériennes (N= 96 carottes). Nous avons congelé les carottes récoltées en attendant de les laver pour extraire le matériel végétal. Nous avons ensuite trié la végétation par espèce en séparant la matière vivante et morte ainsi que les parties vertes et blanches du scirpe américain et de Torrey. Ensuite nous avons séché les parties souterraines à 70° C pendant 48 h (poids constant) puis les avons pesées. Nous avons rajouté le poids des parties vertes et blanches du scirpe américain et de Torrey échantillonnés dans les carottes aux parties aériennes de ces deux espèces respectives.

Nous avons effectué des régressions simples entre la biomasse souterraine et la biomasse aérienne estimée par échantillonnage destructif et non-destructif pour établir une relation entre les deux mesures afin de prédire la biomasse souterraine sans avoir à prélever des carottes. Nous avons également fait des analyses de covariance pour voir si les biomasses souterraines variaient selon les marais.

3.2 Effet du broutement de la Grande Oie des Neiges

3.2.1 Protocole expérimental

Chaque site à l'exception de l'Île-aux-Grues était divisé en deux zones, soit une aire de repos (chasse interdite) et une aire de chasse. Le nombre de stations était réparti de façon égale entre les deux zones et en fonction de la superficie relative de chaque marais. À Cap Tourmente il y avait 16 stations (8 chasse, 8 repos) (App. A, Fig. A.2), à Montmagny 12 stations (6 chasse, 6 repos) (App. A, Fig. A.3), à Cap St-Ignace 10 stations (5 chasse, 5 repos) (App. A, Fig. A.4) et finalement à l'Île-aux-Grues 10 stations toutes dans la zone de repos (App. A, Fig. A.5). Pour tous les sites, les exclos étaient distribués dans les parties proximale, médiane et distale par rapport à la ligne des hautes eaux.

Afin de vérifier si les oies avaient un effet sur la biomasse du scirpe, nous avons installé par hélicoptère à tous les printemps avant l'arrivée des oies des cages en acier. Les cages étaient également retirées des marais à la fin de l'automne après le départ des oies et avant la prise des glaces. À chaque année, nous avons repositionné les exclos aux mêmes endroits dans les différents marais à l'aide d'un GPS différentiel. Chaque exclos couvrait 4 m² et était fait de barreaux d'acier horizontaux espacés de 25 cm. Il était enfoncé jusqu'à ce que les barres horizontales inférieures se trouvent au niveau du sol (soit d'environ 45 cm), empêchant ainsi les oies d'aller brouter dans la parcelle.

Pour chaque exclos, une parcelle témoin de 4 m² était située 5 m à l'est (sauf pour la RNF de Cap Tourmente où les témoins étaient situés 5 m à l'ouest) dans un angle de 90° par rapport à l'exclos. À l'intérieur de chaque parcelle, nous avons échantillonné la végétation

dans 4 quadrats de 25 x 25 cm. Les quadrats étaient situés à 50 cm à l'intérieur des parcelles afin d'éviter l'effet du broutement des oies en bordure des exclos (Fig. 3.1).

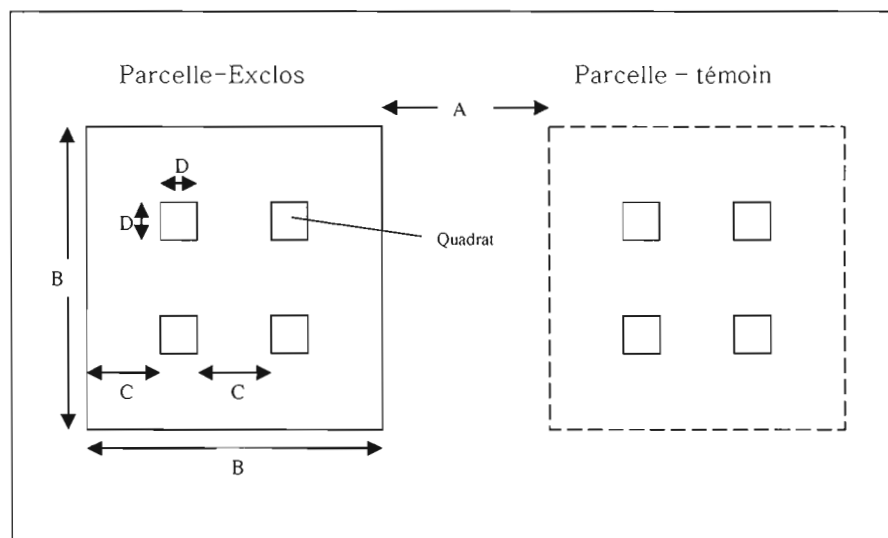


Figure 3.1 Schéma d'une station d'échantillonnage de la végétation du marais à scirpe utilisé à la RNF du Cap Tourmente, à Montmagny, à l'Île-aux-Grues et à Cap St-Ignace. Les lettres représentent les différentes mesures du dispositif d'échantillonnage des stations : A = 5 m, B = 2 m, C = 50 cm, D = 25 cm.

3.2.2 Échantillonnage non destructif

L'échantillonnage non destructif s'est déroulé de 2004 à 2007 à Cap Tourmente et Montmagny et de 2005 à 2007 à Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues de la mi-août au début septembre. Dans chaque quadrat, nous avons identifié toutes les espèces végétales et avons compté le nombre de plants et le nombre de tiges par plant pour la zizanie aquatique seulement. Nous avons mesuré la hauteur de dix plants par espèce dans chaque quadrat sauf en 2004 où dix plants par espèce ont été mesurés dans chaque parcelle. Nous avons calculé la biomasse aérienne à l'aide des équations allométriques développées en 2007 (voir sect. 3.1.1).

3.2.3 Analyses statistiques

Nous avons d'abord calculé une moyenne des quatre quadrats par parcelle pour les densités, les hauteurs et les biomasses pour les trois principales macrophytes. Nous avons utilisé des ANOVA à mesures répétées afin de comparer les densités et les biomasses aériennes du scirpe américain et de Torrey et des analyses non paramétriques de Wilcoxon pour comparer la hauteur des tiges de scirpe américain; la densité, la hauteur et la biomasse aérienne des plants de sagittaire et de zizanie aquatique dans les parcelles broutées (témoins) et non broutées (exclos). Nous avons également utilisé des tests de t appariés pour comparer les densités, les hauteurs et les biomasses aériennes entre les années et entre les parcelles broutées (témoin) et non broutées (exclos) à l'intérieur d'une même année. Pour toutes ces analyses, nous avons établi le seuil de probabilité statistique à 0,05 et nous avons présenté les écart-types des moyennes.

3.3 Effets des variables biophysiques

Nous avons mesuré une série de variables biophysiques à chaque station en 2007 afin de départager l'effet des oies et les caractéristiques abiotiques sur la production du scirpe.

3.3.1 Hauteur des stations

Lors de la pose des exclos au printemps, nous avons mesuré la hauteur géodésique aux quatre coins de l'exclos grâce à un GPS différentiel RTK 8000 Tremble (± 5 cm d'altitude) et avons calculé une moyenne par station. Nous avons traduit cette altitude en un temps de submersion en utilisant les travaux de Sérodes et *al.* (1985) qui ont établi une série de courbes du temps de submersion en fonction des niveaux géodésiques (IGLD).

3.3.2 Sédimentation

Nous avons planté des tiges de métal au printemps (fin mai - début juin 2007) à chacune des stations dans les quatre marais afin de mesurer l'accumulation ou l'érosion de sédiments

au cours d'une saison de croissance. Les tiges étaient enfoncées suffisamment profondément pour empêcher tout mouvement. Une équerre, de 1 m que l'on pouvait transporter d'une station à l'autre, était déposée sur le dessus de la tige et un niveau permettait de maintenir l'équerre en position horizontale. À l'aide d'un gallon à mesurer, nous avons pris une mesure du bout de l'équerre au sol aux quatre points cardinaux. Ces mesures étaient les valeurs de référence, car au printemps, l'accumulation de sédiments n'a pas encore commencé. Puis au mois d'août, nous avons repris de nouvelles mesures pour déterminer l'accumulation de sédiments par différence. À ce moment de la saison, l'accumulation de sédiments est maximale (Bertrand 1990). Comme nous n'avons pas posé toutes les tiges la même journée au printemps et que les lectures n'étaient pas faites au même moment à l'été, nous avons converti l'accumulation de sédiments en accumulation de sédiments par jour. Nous avons utilisé des ANOVA afin de comparer la sédimentation entre les marais et les zones chassés et non chassés, sauf à l'Île-aux-Grues où il n'y a pas de chasse permise dans la zone étudiée.

3.3.3 Granulométrie

Afin de caractériser les sédiments présents à chaque station dans tous les marais, nous avons prélevé un échantillon de sédiments dans la zone d'enracinement (entre 20 et 30 cm), à chaque station au printemps (fin mai – début juin). Nous avons ensuite fait une analyse de granulométrie à l'aide d'un hydromètre selon la méthode de Bouyoucos (1962). Nous avons utilisé des ANOVA à deux critères pour vérifier si la granulométrie du sol avait été modifiée suite au creusage du substrat par les oies à la recherche de rhizomes. Pour les analyses statistiques, une transformation angulaire a été utilisée (Sokal et Rohlf 1995). Nous avons aussi employé des tests de t appariés pour comparer les exclos et les témoins entre eux. Nous avons fait une analyse en composantes principales (ACP) afin de connaître pour chaque marais les deux principales variables caractérisant la texture du sol (sable, limon, argile).

3.3.4 Éléments nutritifs

Les éléments nutritifs ont été analysés pour les échantillons de sédiments récoltés à Cap Tourmente seulement, dans six stations chassées et six stations non chassées. Nous avons

prélevé une carotte de sol dans la parcelle témoin et exclos à chaque station. Nous avons ensuite découpé les carottes sur place à chaque 2 cm d'épaisseur puis tous les échantillons étaient conservés à une température de 4° C en attendant d'être traités. Pour les analyses des éléments nutritifs, nous avons utilisé l'horizon de l'enracinement situé entre 8 et 10 cm. Les analyses de phosphore total et de phosphore inorganique étaient déterminées à l'aide de la méthode standard NAQUADAT (Environnement Canada 1978) alors que le phosphore organique était obtenu par la soustraction de ces deux valeurs. Les analyses du carbone étaient faites par combustion à 1800° C et la mesure du CO₂ dégagé par conductivité thermique était mesurée à l'aide d'un appareil COSTECH CHNSO Analyser modèle 4010 (Strickland et Parsons 1972). Les analyses d'azote étaient faites également par chromatographie en phase gazeuse comme pour le carbone. Toutes ces analyses ont été effectuées au laboratoire de l'ISMER de l'Université du Québec à Rimouski. Nous avons utilisé des ANOVA à deux critères afin de savoir si la zone (chassée et non chassée) et la parcelle (exclos et témoin) avait un effet sur les différents éléments nutritifs. Dans le cas du phosphore inorganique et du rapport molaire, comme les conditions d'application n'étaient pas respectées, nous avons fait une analyse non paramétrique de Wilcoxon. Nous avons également utilisé des tests de t appariés pour comparer les exclos et les témoins.

3.4 Régression multiple

Nous avons utilisé une régression multiple entre la biomasse aérienne du scirpe américain mesurée en 2007 et les différents facteurs biophysiques, l'effet des oies et la biomasse aérienne des plants de zizanie aquatique. Nous avons utilisé le pourcentage de réduction de la biomasse aérienne de scirpe comme indice de la pression de broutement des oies, car nous n'avions pas le nombre d'oies ayant utilisé chaque station au cours des dernières années. Les analyses avaient pour but d'établir quels facteurs expliquaient le mieux la variation de la biomasse aérienne du scirpe américain.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.1 Échantillonnage destructif et non destructif

4.1.1 Équations allométriques

Puisqu'il y avait une différence entre les marais au niveau de l'ordonnée à l'origine des équations pour la sagittaire ($F_{(3,3)} 4.66$; $p = 0.0044$), nous avons donc établi des équations allométriques différentes pour cette espèce selon chaque marais (Tableau 4.1.1). En ce qui concerne le scirpe de Torrey, nous avons utilisé les équations développées par Giroux et Bédard (1988c) dû au faible échantillonnage réalisé en 2007. Tous les modèles étaient hautement significatifs avec des coefficients de corrélation élevés justifiant ainsi l'utilisation de ces équations allométriques pour estimer la biomasse aérienne (Tableau 4.1.1).

Tableau 4.1.1 Équations allométriques reliant la masse (M, g), la hauteur des tiges (H, cm) et le nombre de tiges par plant (T) pour les quatre principales espèces de macrophytes retrouvées à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

	Équation	r	N	s ²
<i>Sagittaria</i> spp. CSI	$M = e^{(2.4628 \ln H - 9.6252)}$	0.88	27	0.192
<i>Sagittaria</i> spp. CT	$M = e^{(2.6334 \ln H - 10.5357)}$	0.77	31	0.249
<i>Sagittaria</i> spp. IG	$M = e^{(3.5357 \ln H - 14.0401)}$	0.92	20	0.181
<i>Sagittaria</i> spp. MT	$M = e^{(2.3435 \ln H - 8.8811)}$	0.82	23	0.186
<i>Schoenoplectus pungens</i>	$M = e^{(1.7179 \ln H - 8.4620)}$	0.89	147	0.074
<i>Schoenoplectus torreyi</i> ¹	$M = e^{(1.8105 \ln H - 8.5722)}$	0.87	281	0.117
<i>Zizania aquatica</i>	$M = e^{(2.2360 \ln H + 0.1839 T - 10.2120)}$	0.91	104	0.139

¹ Giroux et Bédard 1988c

Note: tous les modèles sont significatifs ($p < 0.0001$)

4.1.2 Validation des équations allométriques

La biomasse calculée de façon non destructive était significativement différente de celle obtenue par échantillonnage destructif (sagittaire: $t_{(3,59)} -5,35$; $p < 0,0001$; scirpe américain: $t_{(3,91)} -7,74$; $p < 0.0001$; zizanie aquatique: $t_{(3,72)} -4.88$; $p < 0.0001$). Il n'y avait que la biomasse du scirpe de Torrey qui ne présentait pas de différences entre les deux méthodes ($t_{(1,8)} -0.16$; $p = 0.8779$). L'échantillonnage non destructif surévaluait la biomasse réelle dans le cas de la sagittaire (33%), du scirpe américain (17%) et de la zizanie aquatique (21%). Nous avons donc établi des facteurs de correction qui étaient généralement assez précis, quoique celui de la sagittaire l'était un peu moins (Tableau 4.1.2).

Tableau 4.1.2 Facteurs de correction des équations allométriques reliant l'échantillonnage destructif (D) et l'échantillonnage non destructif (ND) pour les quatre principales espèces de macrophytes retrouvées dans les marais de Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues.

Facteurs de correction		r	N	s ²
<i>Sagittaria</i> spp.	$D = 1.2905 + 0.3528ND$	0.76	60	2.78
<i>Schoenoplectus pungens</i>	$D = 1.6248 + 0.6470ND$	0.93	92	7.09
<i>Schoenoplectus torreyi</i>	$D = ND$	0.91	9	2.29
<i>Zizania aquatica</i>	$D = 0.8785 + 0.6415ND$	0.91	73	9.15

4.1.3 Relation de la biomasse aérienne et souterraine

Il n'y avait pas de différence dans la relation reliant la biomasse aérienne déterminée par un échantillonnage destructif et la biomasse souterraine entre les marais pour la sagittaire ($F_{(3,3)} 0.94$; $p = 0.4332$) ni pour le scirpe américain ($F_{(3,3)} 1.19$; $p = 0.3278$). Cependant, la précision des équations développées n'était pas très forte avec des valeurs de r modérées (Tableau 4.1.3).

Tableau 4.1.3 Équations reliant la biomasse aérienne (BA, g/ m²) et la biomasse souterraine (BS, g/ m²) des trois principales espèces de macrophytes retrouvées à Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues.

	Équation	r	N	s ²
<i>Sagittaria</i> spp.	BS = 11.083 + 0.5769BA	0.65	40	977.0 ^a
<i>Schoenoplectus pungens</i>	BS = - 97.975 + 1.5406BA	0.74	47	28621.0*
<i>Schoenoplectus torreyi</i>	BS = - 45.062 + 1.1695BA	0.93	5	1007.3**

^a * P < 0.0001, ** P < 0.05

4.2 Effet de la Grande Oie des Neiges

L'impact de la Grande Oie des Neiges a été évalué en comparant la densité, la hauteur et la biomasse aérienne obtenue par échantillonnage non destructif. Pour les trois principales macrophytes du marais, nous présentons les variations annuelles de ces trois paramètres pour les parcelles broutées et non broutées puis une comparaison entre les deux types de parcelles pour chaque année de l'étude.

4.2.1 Scirpe américain

4.2.1.1 Densité des tiges

Au cours des années, la densité des tiges de scirpe dans les exclos a augmenté significativement dans les quatre marais par rapport à la densité initiale. Au niveau des témoins, il y avait des différences annuelles à Cap Tourmente et l'Île-aux-Grues, mais sans tendance précise (Tableau 4.2.1).

À Cap Tourmente, la densité moyenne des tiges de scirpe dans les exclos a augmenté de 72% après trois ans d'exclusion, ce qui représentait une différence de près de 600 tiges/m² par rapport à la première année. Dans les témoins, nous avons aussi constaté une augmentation du nombre de tiges d'environ 35% (Fig. 4.2.1.1a). Il y avait une différence entre les zones

broutées et non broutées à chaque année après l'établissement des exclos avec une différence de 70% après trois ans d'exclusion des oies ou environ 350 tiges de plus dans les exclos.

Tableau 4.2.1 Résultats des ANOVA à mesures répétées comparant la densité et la biomasse aérienne et des analyses non paramétriques de Wilcoxon comparant la hauteur du scirpe américain entre les années pour les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

Paramètre	Lieu	Parcelle	Degrés liberté*	F	P
Densité	CT	Exclos	2,3,33.9	19.20	< 0.0001
		Témoin	3,13	4.12	0.0295
	MT	Exclos	3,9	4.21	0.0406
		Témoin	3,9	0.29	0.8343
	CSI	Exclos	2,7	7.71	0.0170
		Témoin	2,8	3.95	0.0642
	IG	Exclos	2,8	14.25	0.0023
		Témoin	2,8	4.53	0.0483
Hauteur	CT	Exclos	3,3	4.03	0.0064
		Témoin	3,3	12.91	< 0.0001
	MT	Exclos	3,3	1.77	0.2205
		Témoin	3,3	4.89	0.0102
	CSI	Exclos	2,2	4.99	0.0237
		Témoin	2,2	0.005	0.9561
	IG	Exclos	2,2	7.78	0.0065
		Témoin	2,2	2.78	0.1112
Biomasse aérienne	CT	Exclos	2,1,31.6	10.11	0.0003
		Témoin	3,13	0.51	0.6809
	MT	Exclos	3,9	2.88	0.0957
		Témoin	3,9	0.26	0.8549
	CSI	Exclos	2,7	23.69	0.0008
		Témoin	1,1,10.0	1.11	0.3241
	IG	Exclos	2,8	15.73	0.0017
		Témoin	2,8	1.38	0.3064

*certaines données ne respectaient pas la sphéricité et nous avons utilisé l'ajustement des degrés de liberté du numérateur et dénominateur de Greenhouse-Geisser (G-G Epsilon).

À Montmagny, la densité des tiges était 70% plus élevée après trois ans d'exclusion des oies, ce qui représentait 715 tiges/m² de plus, soit la plus forte augmentation enregistrée parmi tous les marais (Fig. 4.2.1.1b). Dans les témoins, aucun changement n'a été observé durant l'étude. La plus grande densité de tiges dans les exclos n'était significative qu'en 2006 et 2007 mais représentait une différence de 140% ou 600 tiges/m² (App. B, Tableau B.1).

Après deux ans d'exclusion des oies à Cap St-Ignace, la densité des tiges dans les parcelles non broutées était significativement plus élevée de 40%, soit près de 340 tiges/m². Une augmentation de 30% était aussi notée dans les parcelles témoins (Fig. 4.2.1.1c). Même si la différence entre les témoins et les exclos n'était pas significative (App. B, Tableau B.1), nous avons tout de même observé une différence de 295 tiges/m² à la fin de l'étude entre les parcelles broutées et non broutées. Finalement à l'Île-aux-Grues, la densité des tiges dans les exclos était 60% (400 tiges/m²) plus élevée après deux ans d'exclusion des oies alors que dans les parcelles broutées la différence atteignait 37% (160 tiges/m²) (Fig. 4.2.1.1d). En 2007, il y avait 240 tiges/m² (56%) de plus dans les parcelles non broutées que dans les témoins, mais cette différence n'était pas significative (App. B, Tableau B.1).

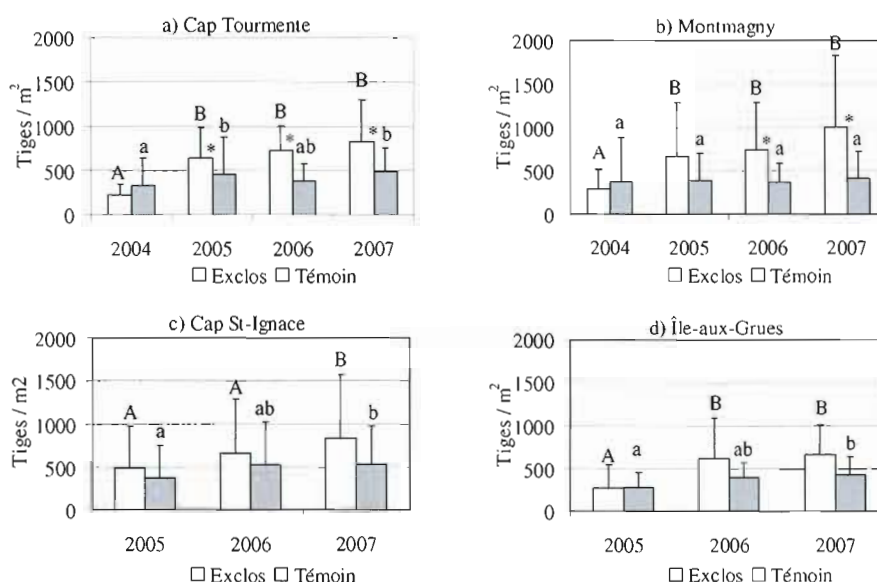


Figure 4.2.1.1 Densité (tiges/m²) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.1.2 Hauteur des tiges

La hauteur des tiges dans les exclos a varié dans le temps dans tous les marais à l'exception de Montmagny, alors que dans les parcelles témoins les différences n'étaient significatives qu'à Cap Tourmente et Montmagny (Tableau 4.2.1). Les tendances, par contre, n'étaient pas aussi claires que pour la densité des tiges.

À Cap Tourmente, la hauteur des tiges a graduellement diminué au cours de l'étude dans les deux types de parcelles et était significativement plus faible en 2007 qu'en 2004 (Fig. 4.2.1.2a). Il y a eu une différence entre les parcelles broutées et non broutées qu'en 2006 et 2007 (App. B, Tableau B.2). À Montmagny, la hauteur des tiges est restée stable dans les exclos durant les quatre années d'étude alors qu'elle a diminué significativement dans les témoins (Fig. 4.2.1.2b). Nous n'avons observé une différence entre les deux types de parcelles qu'en 2004 lors de la pose des exclos (App. B, Tableau B.2). À Cap St-Ignace, une augmentation significative de la hauteur des tiges a été notée en 2006 dans les parcelles non broutées, mais elle est restée stable dans celles broutées (Fig. 4.2.1.2c). Il y a eu une différence significative seulement en 2005 entre les exclos et les témoins (App. B, Tableau B.2). Finalement à l'Île-aux-Grues, nous avons observé une augmentation significative de la hauteur des tiges dans les exclos et une diminution significative dans les témoins après deux ans d'exclusion (Fig. 4.2.1.2d). Il y a eu des différences entre les exclos et les témoins en 2005 et 2006 (App. B, Tableau B.2).

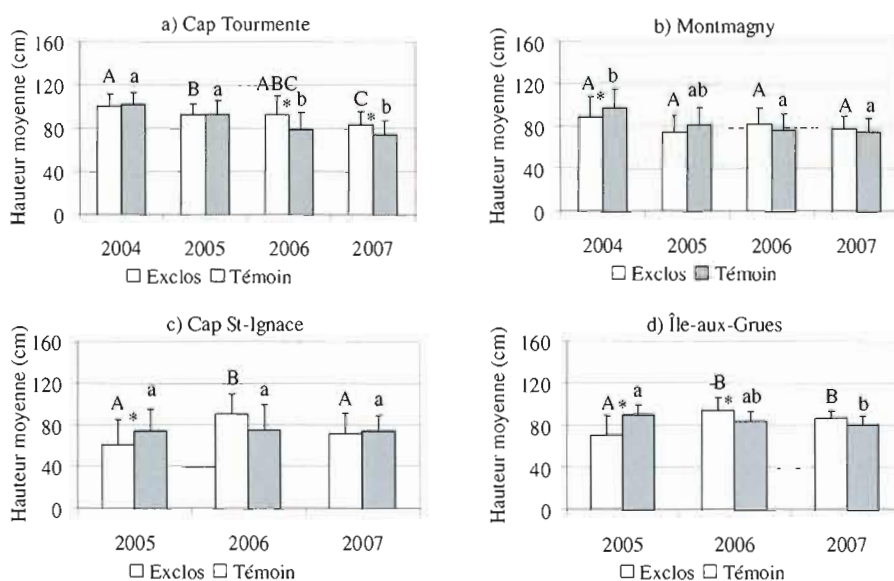


Figure 4.2.1.2 Hauteur (cm) des tiges du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.1.3 Biomasse aérienne

Pour déterminer la biomasse aérienne, nous avons d'abord converti les hauteurs des tiges de scirpe en valeurs de biomasse grâce aux équations allométriques développées en 4.1.1. Nous avons ensuite multiplié ces biomasses par la densité des tiges et finalement, nous avons appliqué les facteurs de correction développés en 4.1.2 pour contrer le biais de l'échantillonnage non destructif. La biomasse aérienne du scirpe a augmenté significativement au cours des années dans les parcelles protégées du broutement des oies dans tous les marais, mais elle est restée stable dans les parcelles broutées (Tableau 4.2.1).

À Cap Tourmente, nous avons observé une augmentation significative de la biomasse aérienne du scirpe dans les exclos après trois ans d'exclusion, soit environ 160 g/m^2 de plus. Dans les témoins, la biomasse aérienne n'a pas changé significativement entre 2004 et 2007 (Fig. 4.2.1.3a). Dès l'année suivant le début de l'étude, il y avait une différence significative entre les exclos et les témoins (App. B, Tableau B.3) et qu'après trois ans d'exclusion, la différence s'élevait à 104% ou 140 g/m^2 de plus dans la zone non broutée. À Montmagny, le même patron a été observé dans les exclos avec une augmentation de 60% de la biomasse aérienne, ce qui équivalait à 165 g/m^2 . Dans les témoins, la biomasse aérienne est restée stable tout au cours de l'étude (Fig. 4.2.1.3b). Ce n'était qu'en 2007 qu'une différence significative entre les parcelles broutées et non broutées est apparue avec une augmentation de 130% dans les exclos (App. B, Tableau B.3). À Cap St-Ignace, la biomasse aérienne était significativement différente dans les exclos avec une augmentation de 98 g/m^2 après trois ans. Au niveau des parcelles broutées, il n'y avait pas de différence significative entre les années (Fig. 4.2.1.3c). Les différences entre les témoins et les exclos étaient moins marquées et c'était seulement en 2006 que la différence était significative (App. B, Tableau B.3). En 2007, il y avait quand même 30% plus de biomasse aérienne dans les exclos. Finalement à l'Île-aux-Grues, la biomasse aérienne a augmenté de 60% (135 g/m^2) après deux ans d'exclusion des oies, alors qu'elle est restée stable dans les témoins (Fig. 4.2.1.3d). Nous avons trouvé aucune différence significative entre les parcelles broutées et non broutées (App. B, Tableau B.3), mais nous avons tout de même observé une différence de 65% entre les témoins et les exclos après deux ans d'exclusion.

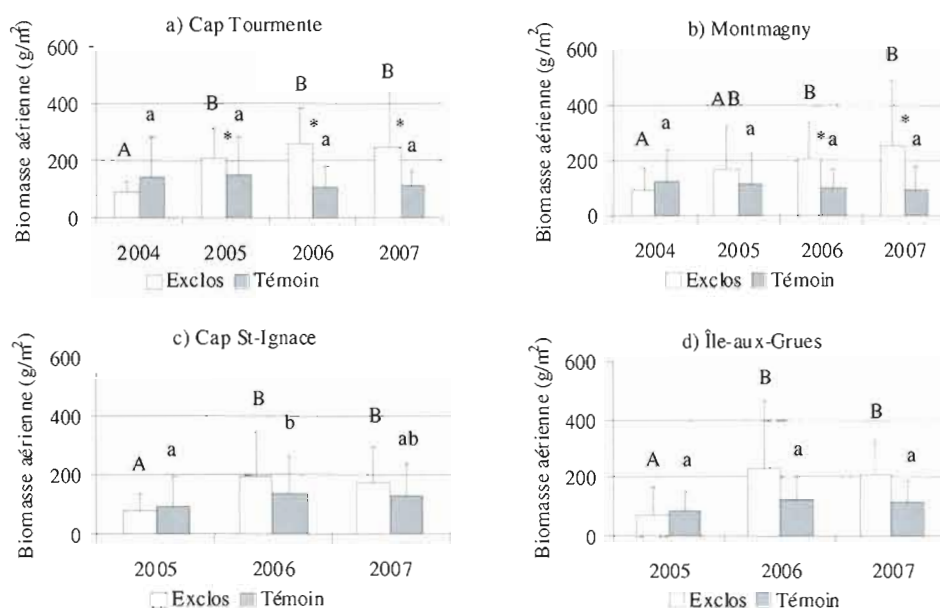


Figure 4.2.1.3 Biomasse aérienne (g/m²) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.1.4 Biomasse souterraine

Grâce aux équations reliant la biomasse aérienne et celle souterraine que nous avons développées à l'aide des modèles de régression (voir section 4.1.3), nous avons pu traduire la différence de biomasse aérienne qui existait entre les parcelles non broutées et broutées à la fin de l'étude en une différence de biomasse souterraine. Nous avons calculé qu'elles représentaient 290, 345, 150 et 220 g/m² dans les marais de Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et Île-aux-Grues, respectivement.

4.2.1.5 Zones chassées et non chassées

À Cap Tourmente, Montmagny et Cap St-Ignace la chasse était permise dans certaines parties du marais. Nous avons des stations dans des zones chassées et dans des zones non chassées. Les analyses n'ont montré aucun effet significatif de la zone sur la biomasse aérienne sauf à Cap St-Ignace. Nous avons observé que seulement les exclos dans les zones chassées variaient au cours des années ($F_{(2,3)} 48.42$; $p=0.0052$), mais pas celles des zones non chassées ($F_{(2,3)} 3.66$; $p=0.1565$). Cette différence au niveau des zones de chasse ne s'est produite qu'en 2006 où il y a eu une augmentation de 70% (150 g/m^2) de la biomasse aérienne. En 2006, il y avait une différence significative entre les exclos des zones chassées et non chassées, soit 20% de plus dans les parcelles non broutées des zones chassées. Nous avons également comparé les parcelles non broutées et broutées de chaque zone entre elles à l'aide de tests de t appariés et nous avons trouvé une différence entre les deux seulement en 2006 dans la zone chassée. Après deux ans d'exclusion des oies, il y a eu une augmentation de 50% (60 g/m^2) et de 60% (130 g/m^2) dans les zones chassées et non chassées respectivement, ce qui représentait une différence de 77% de plus dans les zones non chassées. Dans les trois marais où la chasse était permise, nous constatons que seulement après une année d'exclusion, la biomasse aérienne est plus élevée dans les parcelles non broutées que celles broutées, peu importe si elles sont situées dans une zone de chasse ou pas. De plus, même si les différences ne sont pas significatives, nous remarquons que la production aérienne du scirpe a toujours tendance à être plus haute dans les zones chassées que non chassées (Fig. 4.2.1.5).

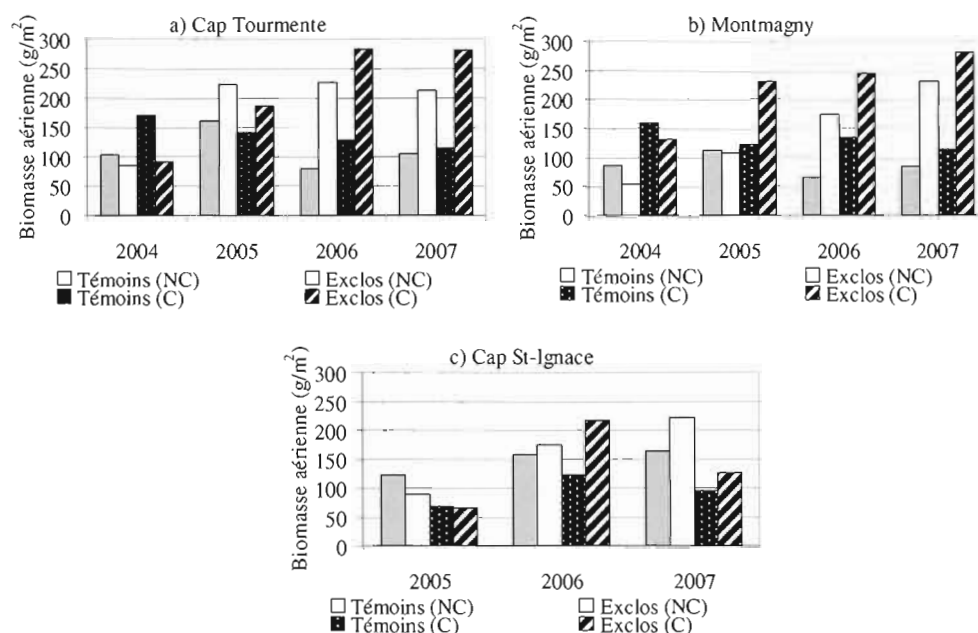


Figure 4.2.1.5 Biomasse aérienne (g/m^2) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les zones non chassées (NC) et chassées (C) des marais à scirpe de a) Cap Tourmente (2004 à 2007); b) Montmagny (2004 à 2007) et c) Cap St-Ignace (2005 à 2007).

4.2.2 Sagittaire

4.2.2.1 Densité des plants

La densité des plants de sagittaire n'a pas changé significativement au cours de l'étude tant dans les parcelles broutées que non broutées de chaque marais (Tableau 4.2.2, Fig. 4.2.2.1). Cependant, nous avons tout de même noté une diminution du nombre de plants de sagittaire à Cap Tourmente de près de 40% dans les exclos et 70% dans les témoins après trois ans d'exclusion des oies. Dans les trois autres marais, nous avons plutôt observé une augmentation de la densité moyenne des plants. Lorsque nous comparons la densité des plants de sagittaire entre les exclos et les témoins à l'intérieur d'une même année, aucune différence n'est notée (App. C, Tableau C.1). Néanmoins, la densité des plants après trois ans d'exclusion était 20 et 33% plus élevée dans les zones non broutées à Cap Tourmente et

Montmagny, respectivement. À l'inverse, nous avons observé une augmentation de 40 et 20% du nombre de plants dans les zones broutées à Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues, respectivement. La plus forte densité de plants de sagittaire a été observée à l'Île-aux-Grues (Fig. 4.2.2.1).

Tableau 4.2.2 Résultats des analyses non paramétriques (Wilcoxon) entre les années de la densité, de la hauteur et de la biomasse aérienne de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

Paramètre	Lieu	Parcelle	Degré liberté	F	P
Densité	CT	Exclos	3,3	0.53	0.6284
		Témoin	3,3	1.81	0.0964
	MT	Exclos	3,3	2.12	0.2137
		Témoin	3,3	0.40	0.9752
	CSI	Exclos	2,2	0.70	0.2594
		Témoin	2,2	1.31	0.3432
	IG	Exclos	2,2	0.12	0.7816
		Témoin	2,2	0.14	0.9932
Hauteur	CT	Exclos	3,3	2.02	0.1785
		Témoin	3,3	4.78	0.0096
	MT	Exclos	3,3	1.56	0.2365
		Témoin	3,3	0.21	0.7573
	CSI	Exclos	2,2	11.84	0.0249
		Témoin	2,2	1.49	0.3207
	IG	Exclos	2,2	0.11	0.8696
		Témoin	2,2	2.55	0.0682
Biomasse aérienne	CT	Exclos	3,3	0.20	0.7618
		Témoin	3,3	1.16	0.1822
	MT	Exclos	3,3	1.37	0.3313
		Témoin	3,3	0.23	0.8952
	CSI	Exclos	2,2	0.48	0.7839
		Témoin	2,2	0.44	0.8582
	IG	Exclos	2,2	0.05	0.8562
		Témoin	2,2	0.34	0.6902

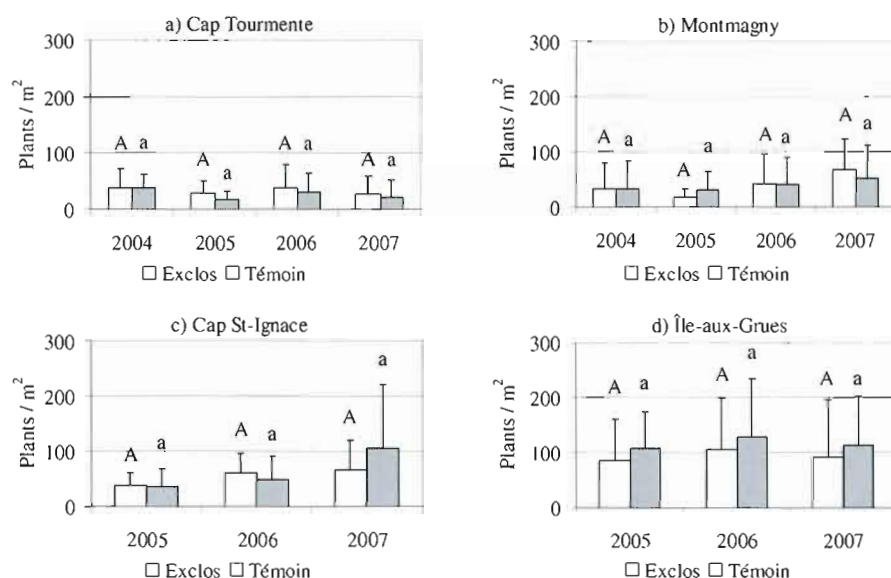


Figure 4.2.2.1 Densité (plants/m²) de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.2.2 Hauteur des plants

À Cap Tourmente, la hauteur des plants est restée stable dans les parcelles non broutées au cours de l'étude, mais elle était significativement plus faible dans les parcelles broutées en 2006 par rapport aux autres années et aux parcelles non broutées (Tableau 4.2.2, Fig. 4.2.2.2a, App. C, Tableau C.2). À Montmagny, aucune différence significative de la hauteur des plants de sagittaire n'a été observée au cours des années dans les exclos et les témoins (Fig. 4.2.2.2b). Toutefois, les plants étaient significativement plus hauts dans les parcelles broutées que dans celles non broutées en 2005 et 2007 (App. C, Tableau C.2). À Cap St-Ignace, la hauteur des plants a diminué significativement après deux ans d'exclusion des oies, mais est restée stable dans les témoins (Fig. 4.2.2.2c). Il n'y avait aucune différence entre les parcelles broutées et non broutées (App. C, Tableau C.2). Finalement à l'Île-aux-Grues, la

hauteur des plants est restée stable dans les exclos et a légèrement diminué dans les témoins en 2007 (Fig. 4.2.2.d). Nous n'avons trouvé aucune différence entre les exclos et les témoins au cours des années à l'étude (App. C, Tableau C.2).

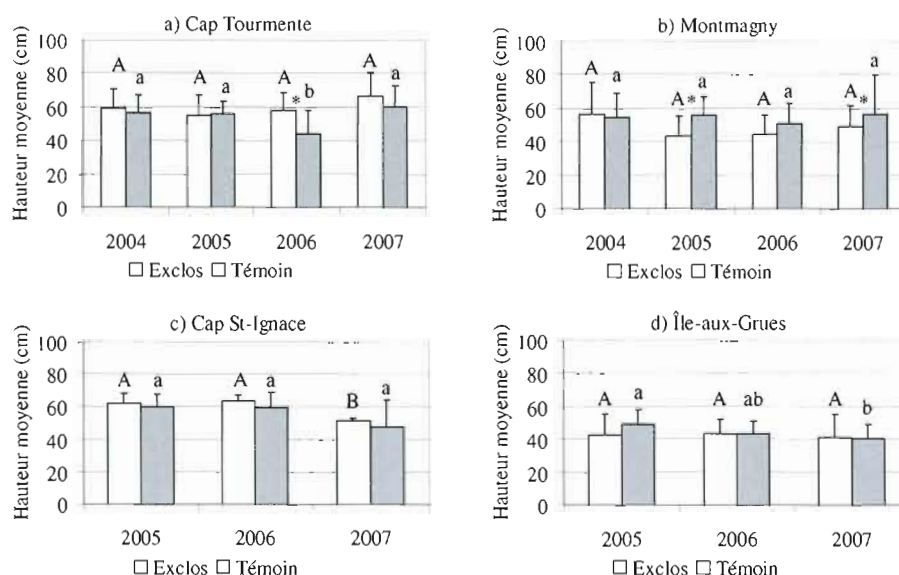


Figure 4.2.2.2 Hauteur (cm) des plants de *sagittaire* spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.2.3 Biomasse aérienne

La biomasse aérienne de la *sagittaire* était très variable et aucune différence n'a été détectée au cours des années ni dans les parcelles exclos ni dans les parcelles témoins des quatre sites (Tableau 4.2.2, Fig. 4.2.2.3). Nous avons tout de même calculé une diminution d'environ 10% à Cap Tourmente et l'Île-aux-Grues de la biomasse aérienne dans les parcelles non broutées, tandis qu'il y a eu une augmentation de 27 et 5% à Montmagny et Cap St-

Ignace, respectivement. Dans les parcelles broutées, par contre, nous avons observé une augmentation de la biomasse aérienne à Montmagny (10%), Cap St-Ignace (50%) et l'Île-aux-Grues (10%). À Cap Tourmente, il y a eu également une diminution dans les témoins d'environ 25%. Il n'y avait aucune différence significative entre les zones broutées et non broutées au cours des années (App. C, Tableau C.3). Après trois ans d'exclusion des oies, nous avons calculé une différence de 30 et 10% entre les témoins et les exclos à Cap Tourmente et Montmagny respectivement, soit environ 5 g/m² de plus dans les exclos. À Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues, il y a eu une augmentation à la fin de l'étude dans les témoins par rapport aux exclos de 40 et 50% respectivement, ce qui représentait 10 et 20 g/m².

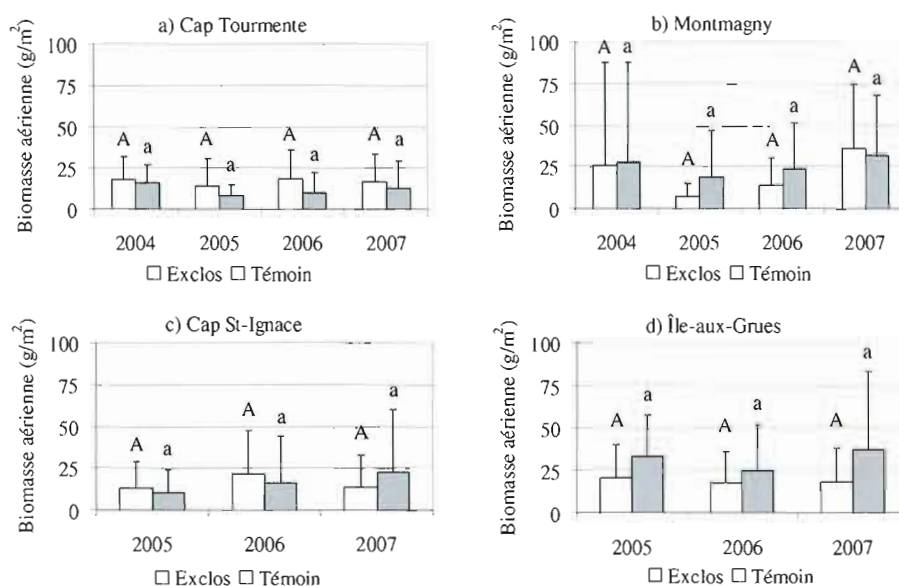


Figure 4.2.2.3 Biomasse aérienne (g/m²) de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.3 Zizanie aquatique

4.2.3.1 Densité des plants

À Cap Tourmente, la densité des plants de zizanie aquatique a diminué de 160% et de 120% entre 2004 et 2007 dans les parcelles non broutées et broutées, respectivement (Tableau 4.2.3, Fig. 4.2.3.1a).

Tableau 4.2.3 Résultats des analyses non paramétriques (Wilcoxon) entre les années de la densité, de la hauteur et de la biomasse aérienne de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

Paramètre	Lieu	Parcelle	Degré liberté	F	P
Densité	CT	Exclos	3,3	8.18	0.0003
		Témoin	3,3	9.86	< 0.0001
	MT	Exclos	3,3	16.48	0.0001
		Témoin	3,3	21.47	0.0002
	CSI	Exclos	2,2	0.59	0.9231
		Témoin	2,2	0.16	0.8237
	IG	Exclos	2,2	2.31	0.3287
		Témoin	2,2	0.86	0.4393
Hauteur	CT	Exclos	3,3	8.59	0.0003
		Témoin	3,3	22.32	< 0.0001
	MT	Exclos	3,3	1.49	0.2941
		Témoin	3,3	4.73	0.0144
	CSI	Exclos	2,2	0.02	0.8754
		Témoin	2,2	0.83	0.6734
	IG	Exclos	2,2	4.78	0.0147
		Témoin	2,2	8.90	0.0030
Biomasse aérienne	CT	Exclos	3,3	4.28	0.0003
		Témoin	3,3	12.15	< 0.0001
	MT	Exclos	3,3	11.58	0.0004
		Témoin	3,3	13.49	0.0005
	CSI	Exclos	2,2	0.53	0.9911
		Témoin	2,2	0.20	0.8625
	IG	Exclos	2,2	4.63	0.0472
		Témoin	2,2	0.43	0.5355

Même s'il n'y avait aucune différence entre les parcelles broutées et non broutées pour chaque année (App. D, Tableau D.1), nous avons dénombré environ 25% plus de plants dans les parcelles broutées par rapport aux exclos en 2007. À Montmagny, la densité des plants était significativement plus faible après quatre ans avec une perte d'environ 95 plants/m² dans les exclos et d'environ 80 plants/m² dans les témoins (Fig. 4.2.3.1b). Il n'y avait aucune différence significative entre les exclos et les témoins (App. D, Tableau D.1), mais nous avons observé une augmentation de 55% de la densité de la zizanie dans les témoins comparativement aux exclos à la fin de l'étude. À Cap St-Ignace, la densité des plants est restée stable dans les exclos et les témoins entre 2005 et 2007 (Fig. 4.2.3.1c) et nous n'avons trouvé aucune différence significative entre les exclos et les témoins (App. D, Tableau D.1). À l'Île-aux-Grues, la densité est également demeurée stable au cours des années dans les deux types de parcelles (Fig. 4.2.3.1d). Il y avait une différence entre les parcelles broutées et non broutées en 2005 et 2007 (App. D, Tableau D.1). Après deux ans d'exclusion des oies, nous avons calculé une différence de 40% entre les témoins et les exclos, ce qui représentait 18 plants/m² de plus dans les parcelles broutées. Malgré la perte du nombre de plants/m² à Cap Tourmente, c'était tout de même à cet endroit que la densité de plants de zizanie était la plus forte, l'Île-aux-Grues arrivait en second (Fig. 4.2.3.1).

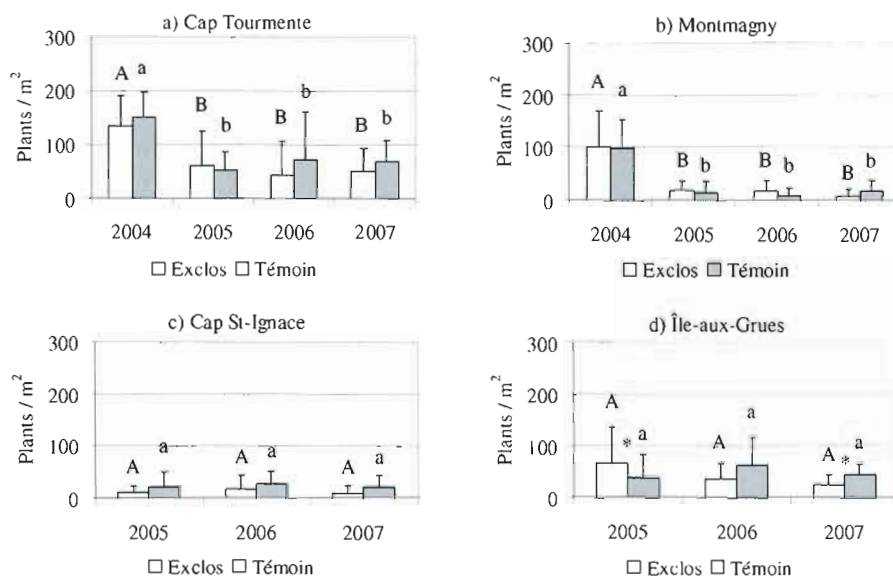


Figure 4.2.3.1 Densité (plants/m²) de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.3.2 Hauteur des plants

La hauteur des plants de zizanie dans les exclos et les témoins a varié significativement au cours des années à Cap Tourmente et à l'Île-aux-Grues, mais les patrons n'étaient pas très évidents (Tableau 4.2.3, Fig. 4.2.3.2). À Cap Tourmente, il y avait une différence dans la hauteur de la zizanie entre les exclos et les témoins seulement en 2004 lors de l'établissement des parcelles (App. D, Tableau D.2). À Montmagny, la hauteur est restée stable dans les exclos et a varié dans les témoins mais avec aucune différence entre la première et la dernière année (Fig. 4.2.3.2b). En 2007, les plants de zizanie étaient plus hauts dans les parcelles soumises au broutement des oies que celles protégées (App. D, Tableau D.2). À Cap St-Ignace, la hauteur des plants de zizanie n'a pas varié significativement au cours des années dans les exclos et les témoins et il n'y avait pas de différence entre les deux types de parcelles

(Fig. 4.2.3.2c, App. D, Tableau D.2). Finalement à l'Île-aux-Grues, la hauteur des plants de zizanie était plus élevée en 2007 dans les exclos et les témoins que durant les deux années précédentes, mais il n'y avait pas de différence entre les parcelles broutées et non broutées au cours de l'étude (Fig. 4.2.3.2d, App. D, Tableau D.2).

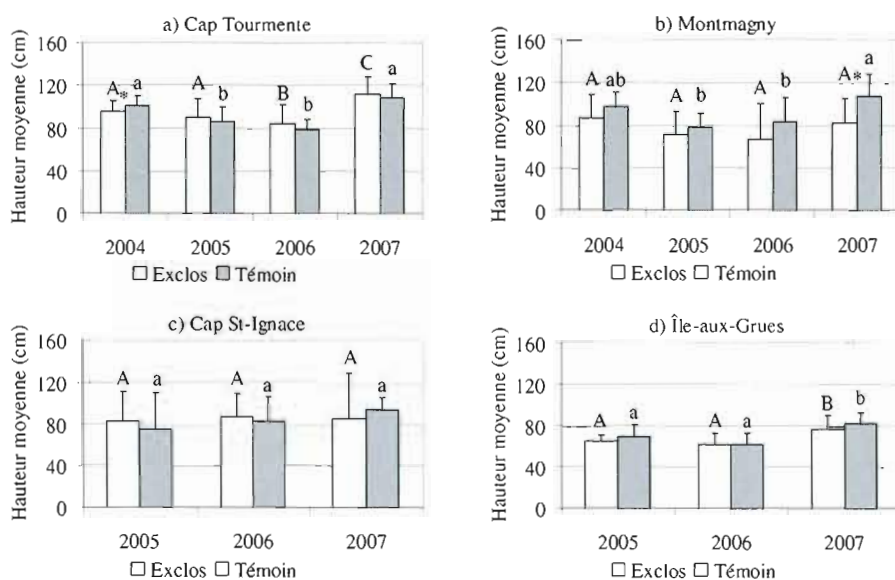


Figure 4.2.3.2 Hauteur (cm) des plants de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.3.3 Biomasse aérienne

La biomasse aérienne des plants de zizanie aquatique a varié significativement au cours des années dans les parcelles broutées et non broutées seulement à Cap Tourmente et Montmagny (Tableau 4.2.4). À Cap Tourmente, après trois ans d'exclusion des oies, la biomasse aérienne des plants de zizanie a diminué de 50% dans les exclos et les témoins (Fig.

4.2.3.3a). Même s'il y avait une différence entre les exclos et les témoins qu'en 2004 lors de l'établissement des parcelles (App. D, Tableau D.3), nous avons calculé une augmentation de 20% (23 g/m^2) dans les parcelles broutées à la fin de l'étude. À Montmagny, après trois années d'exclusion des oies, nous avons observé une diminution de la biomasse aérienne de 70 et 60 g/m^2 dans les exclos et les témoins respectivement (Fig. 4.2.3.3b). Il y a eu une différence entre les parcelles broutées et non broutées qu'en 2007 (App. D, Tableau D.3), mais au bilan c'était une différence de 75% que nous avons trouvé entre les deux. À Cap St-Ignace, la biomasse aérienne est restée stable durant toutes les années dans les exclos et les témoins (Fig. 4.2.3.3c) et aucune différence significative n'est apparue entre les deux types de parcelles (App. D, Tableau D.3). Toutefois, nous avons observé une différence de 35% après deux ans d'exclusion, soit 7 g/m^2 de plus dans les témoins. Finalement à l'Île-aux-Grues, après deux années d'exclusion des oies, la biomasse aérienne a diminué de 25 g/m^2 dans les exclos, mais est restée stable dans les parcelles broutées (Fig. 4.2.3.3d). Il y avait une différence significative entre les deux types de parcelles qu'en 2007 (App. D, Tableau D.3). Après deux années d'exclusion des oies, nous avons observé une différence de 50% entre les parcelles broutées et non broutées, ce qui représentait 20 g/m^2 de plus dans les témoins.

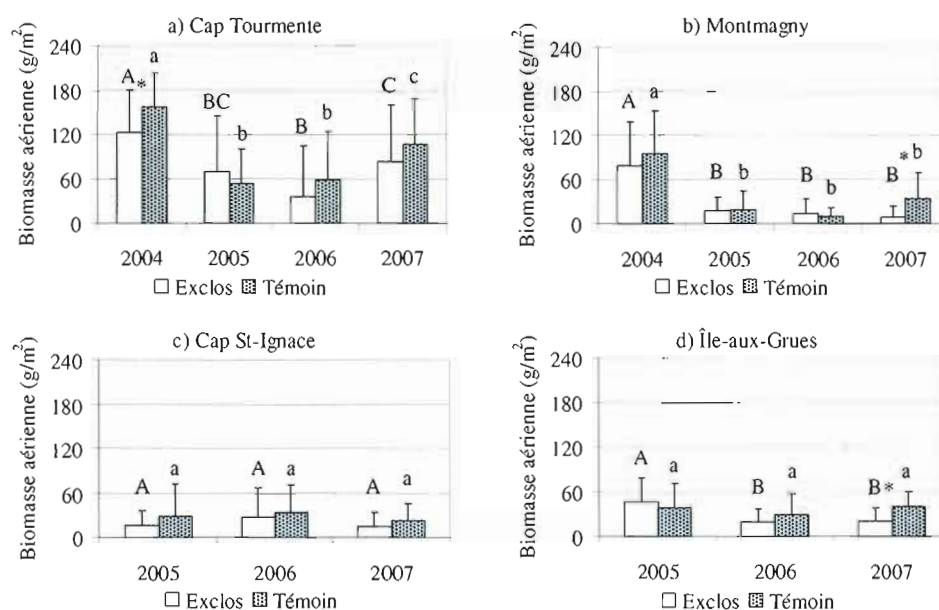


Figure 4.2.3.3 Biomasse aérienne (g/m²) de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de a) Cap Tourmente; b) Montmagny; c) Cap St-Ignace; et d) Île-aux-Grues. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.4 Scirpe de Torrey

Le scirpe de Torrey n'a été détecté qu'à Montmagny et à l'Île-aux-Grues, mais n'était suffisamment abondant qu'à Montmagny pour permettre des analyses statistiques.

4.2.4.1 Densité des tiges

À Montmagny, la densité des tiges de scirpe de Torrey est restée stable dans les deux types de parcelles au cours des années (Tableau 4.2.4). Nous avons tout de même observé une augmentation de 85% (195 tiges/m²) et de 65% (185 tiges/m²) dans les parcelles non broutées et broutées respectivement après trois ans d'exclusion des oies.

Tableau 4.2.4 Résultats des ANOVA à mesures répétées comparant la densité et la biomasse aérienne et des analyses non paramétriques de Wilcoxon comparant la hauteur du scirpe de Torrey entre les années pour les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Montmagny (MT).

Paramètre	Lieu	Parcelle	Degré liberté	F	P
Densité	MT	Exclos	3,1	0.92	0.6252
		Témoin	3,1	1.14	0.5822
Hauteur	MT	Exclos	3,3	0.46	0.2477
		Témoin	3,3	0.15	0.5745
Biomasse aérienne	MT	Exclos	3,1	0.87	0.6381
		Témoin	3,1	1.01	0.6063

Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les parcelles broutées et non broutées (Fig. 4.2.4.1, App. E, Tableau E.1), cependant nous avons observé une différence de 20 %, ce qui représentait 60 tiges/m² de plus dans les parcelles témoins.

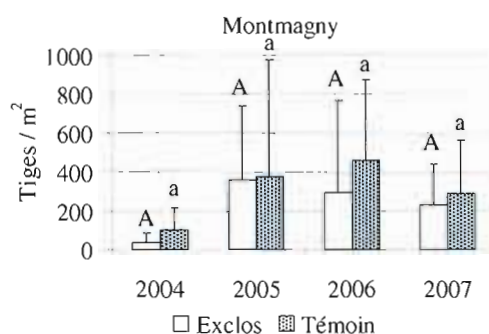


Figure 4.2.4.1 Densité (tiges/m²) du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.4.2 Hauteur des tiges

La hauteur des tiges de scirpe de Torrey est restée stable dans les parcelles broutées et non broutées et aucune différence significative de la hauteur des tiges n'a été observée au cours de l'étude (Tableau 4.2.4, Fig. 4.2.4.2; App. E, Tableau E.2).

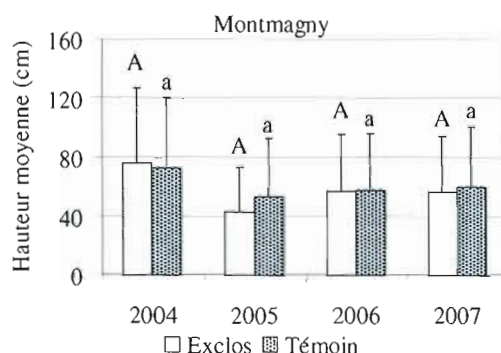


Figure 4.2.4.2 Hauteur (cm) des tiges du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.2.4.3 Biomasse aérienne

La biomasse aérienne du scirpe de Torrey est demeurée stable autant dans les parcelles broutées que non broutées durant l'étude (Tableau 4.2.4). Cependant nous avons observé une augmentation de la biomasse aérienne de 80% (88 g/m²) et de 68% (108 g/m²) dans les exclos et les témoins respectivement. Il n'y avait aucune différence entre les parcelles broutées et non broutées (Fig. 4.2.4.3, App. E, Tableau E.3). Nous avons néanmoins constaté une augmentation de 30% dans les témoins après trois ans d'exclusion des oies, soit 50g/m² de plus.

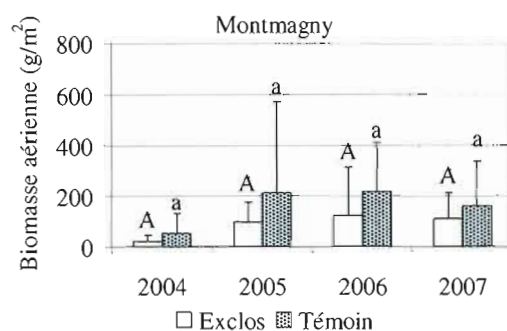


Figure 4.2.4.3 Biomasse aérienne (g/m^2) du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny. La variation annuelle à l'intérieur des exclos et des témoins est comparée avec les lettres majuscules et minuscules, respectivement. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes; les moyennes significativement différentes entre les exclos et les témoins d'une même année sont représentées par des astérisques.

4.3 Variables biophysiques

4.3.1 Temps de submersion

Nous avons transformé les altitudes de chaque station prises à l'été 2007 grâce aux courbes du temps de submersion en fonction des niveaux géodésiques (IGLD) développées par Sérodes et *al.* (1985). Nous avons observé que les temps de submersion variaient selon les marais ($F_{(3,3)} = 56.86$; $p < 0.0001$). Les stations des marais de Cap St-Ignace et de l'Île-aux-Grues avaient des temps de submersion semblables, tandis que celles de Cap Tourmente et de Montmagny étaient significativement moins élevées. Les stations de Montmagny étaient celles qui passaient le moins de temps submergées par les eaux, soit 16% du temps. À Cap St-Ignace, nous avons constaté que les stations se retrouvaient submergées à 48% du temps, soit le plus haut pourcentage d'entre tous les marais à l'étude (Tableau 4.3.1).

Tableau 4.3.1 Temps de submersion en pourcentage des marais de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), l'Île-aux-Grues (IG) et Cap St-Ignace (CSI).

Lieu	N	Temps de submersion (%)
CT	16	32 ± 4
MT	12	16 ± 7
IG	10	43 ± 7
CSI	10	48 ± 7

4.3.2 Sédimentation

Au pic de l'accumulation de sédiments au mois d'août, nous avons observé une plus grande épaisseur de sédiments dans le marais de Cap Tourmente, soit 10.1 cm. Les marais de l'Île-aux-Grues et de Montmagny avaient une épaisseur semblable, soit 8.6 et 8.4 cm respectivement. Finalement, c'était à Cap St-Ignace que la sédimentation était la plus faible avec 6.7 cm au total. Comme les mesures n'ont pas toutes été prises la même date, nous avons transformé cette sédimentation en des valeurs d'accumulation/jour (cm/jour). Nous avons observé que l'accumulation/jour des sédiments variait selon les zones chassées et non chassées ($F_{(1,1)} = 4.95$; $p = 0.0333$). Par contre, les différences étaient significatives seulement à Cap St-Ignace, les résultats montrant une plus faible accumulation/jour dans les zones non chassées où 4.2 cm de sédiments s'étaient accumulés (Tableau 4.3.2).

Tableau 4.3.2 Accumulation de sédiment (cm) par jour à Cap Tourmente (du 6 juin au 23 août 2008), Montmagny (du 8 juin au 25 août 2008), Cap St-Ignace (du 8 juin au 31 août 2008) et l'Île-aux-Grues (du 7 juin au 29 août 2008) dans les zones chassées et non chassées.

Lieu	Zone chassée		Zone non chassée		P*
CT	n= 8	0.13 ± 0.04	n= 8	0.13 ± 0.05	0.9664
MT	n= 6	0.12 ± 0.04	n= 6	0.09 ± 0.03	0.1879
CSI	n= 5	0.11 ± 0.04	n= 5	0.05 ± 0.04	0.0425
IG			n= 10	0.11 ± 0.06	

*tests de t non appariés

4.3.3 Granulométrie

Il n'y avait pas de différence significative dans la composition en argile, sable et limon entre les parcelles broutées et non broutées (Tableau 4.3.3). Par contre, la composition des sédiments variait selon chacun des sites. À Cap Tourmente et Montmagny, les sédiments étaient surtout composés de limon et de sable. À Cap St-Ignace, nous y retrouvions majoritairement du limon et à l'Île-aux-Grues, le sable, le limon et l'argile se retrouvaient dans des proportions très semblables dans les sédiments (Tableau 4.3.3). Pour l'ensemble des marais, la première composante des sédiments était caractérisée par sable (*Eigenvector* -0,7786)) alors que la seconde était dominée surtout par l'argile (*Eigenvector* 0,7667).

Tableau 4.3.3 Composition en argile, sable et limon des parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) à Cap St-Ignace, Cap Tourmente, Montmagny et Île-aux-Grues.

Lieu	Granulométrie	Exclos	N	Témoin	N	P*
CSI	% argile	29 ± 8	10	30 ± 17	10	0.8069
	% sable	26 ± 7	10	30 ± 15	10	0.4588
	% limon	46 ± 11	10	40 ± 13	10	0.1430
CT	% argile	24 ± 5	16	23 ± 4	16	0.4610
	% sable	36 ± 8	16	39 ± 6	16	0.1490
	% limon	40 ± 10	16	38 ± 8	16	0.4436
IG	% argile	31 ± 3	10	33 ± 5	10	0.3461
	% sable	35 ± 10	10	30 ± 8	10	0.1531
	% limon	34 ± 10	10	37 ± 8	10	0.3000
MT	% argile	25 ± 14	12	25 ± 15	12	0.9286
	% sable	33 ± 18	12	36 ± 15	12	0.3369
	% limon	42 ± 12	12	39 ± 14	12	0.3193

* tests de t appariés

4.3.4 Éléments nutritifs

Il y avait significativement plus de phosphore total dans les parcelles broutées que non broutées dans les échantillons de sol récoltés à Cap Tourmente (Tableau 4.3.4).

Tableau 4.3.4 Composition en phosphore ($\mu\text{mole/g}$) (inorganique, organique, total), en azote (%) et en carbone (%) des échantillons prélevés entre 8 et 10 cm dans le sol à Cap Tourmente dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoin).

Éléments nutritifs	Exclos (n= 12)	Témoin (n=12)	P*
PO ₄ inorg	24.95 \pm 3.16	26.36 \pm 4.09	0.1798
PO ₄ org	4.11 \pm 2.74	5.51 \pm 2.42	0.2330
PO ₄ tot	28.99 \pm 3.44	31.44 \pm 3.01	0.0141
% azote	0.21 \pm 0.05	0.21 \pm 0.07	0.9678
% carbone	1.73 \pm 0.68	1.82 \pm 0.95	0.7877
Rapport molaire C/N	10.31 \pm 1.21	10.51 \pm 1.97	0.7800

* tests de t appariés

4.4 Régression multiple

Puisque les analyses chimiques (éléments nutritifs) n'ont été faites que pour Cap Tourmente, nous avons fait d'abord une première régression multiple pour ce site seulement. Nous y avons donc inclus l'effet des oies et toutes les variables biophysiques (à noter que dans ce cas-ci, nous avons mis les données de granulométrie (ACP) calculées pour Cap Tourmente). Seules deux variables expliquaient les variations des biomasses aériennes du scirpe américain. Le phosphore organique ($F_{(1,1)} 6,22$; $p= 0,0342$) augmentait la biomasse aérienne, tandis que l'effet du broutement des oies ($F_{(1,1)} 4,82$; $p= 0,0558$) avait l'effet inverse (Tableau 4.4).

Lorsque tous les marais étaient analysés, sans les données des éléments nutritifs et avec les résultats de l'ACP de l'ensemble des marais pour la granulométrie, seul l'effet du broutement des oies ($F_{(1,1)} 6,84$; $p= 0,0120$) expliquait la biomasse aérienne du scirpe américain dans les parcelles broutées, mais à un faible niveau (Tableau 4.4). Plus le broutement était élevé, plus la production aérienne diminuait.

Tableau 4.4 Résultats des régressions multiples pour Cap Tourmente et pour l'ensemble des quatre marais expliquant la variation de la production de scirpe américain mesurée dans les parcelles broutées en 2007.

Marais	Constante	Variables*	R ² ajusté	F	P
CT	78,12	oies (-0,83) P (12,93)	0,62	10,12	0,005
Ensemble des marais	158,82	oies (-0,76)	0,11	6,84	0,012

* coefficients de régression (oies = pourcentage de réduction annuel, P = phosphore organique en $\mu\text{mole/g}$)

CHAPITRE V

DISCUSSION

5.1 Échantillonnage destructif et non destructif

Nous avons utilisé une méthode d'échantillonnage non destructif pour faire le suivi de la végétation dans les parcelles protégées du broutement des oies. Pour ce faire, nous avons privilégié une méthode de double échantillonnage (Liefers 1983; Giroux et Bédard 1988c; Gouraud et *al.* 2008) pour obtenir les estimations des biomasses aériennes des principales macrophytes des marais de l'estuaire. Nos modèles étaient hautement significatifs tout comme ceux de Giroux et Bédard (1988c) et Gouraud et *al.* (2008). Nous n'avons pas trouvé de différence dans les équations allométriques entre les quatre marais sauf pour la sagittaire. Giroux et Bédard (1988c) n'avait pas trouvé non plus de différence entre les marais, mais leurs travaux n'avaient été réalisés que dans les deux marais de la rive sud, tandis que nous avons quatre marais, dont un sur la rive nord. Gouraud et *al.* (2008) avaient trouvé des différences entre les marais, mais leur étude était menée dans les marais de Camargue qui s'assèchent complètement avant d'être à nouveau inondés au début d'août par le pompage d'eau. Dans l'estuaire du St-Laurent, par contre, les marais sont continuellement soumis à l'action des marées cela signifie que deux fois par jour et durant toute l'année, la végétation se retrouve complètement submergée par l'eau. Gouraud et *al.* (2008) avaient aussi trouvé des variations interannuelles, ce que nous n'avons pu vérifier avec notre échantillonnage de 2007. Par contre, lorsque nous avons comparé nos données (2007) avec celles de Giroux et Bédard (1988c), nous avons également trouvé des différences interannuelles (Girard et Giroux, données non publiées). Puisque la méthode d'échantillonnage était la même pour les deux périodes, la principale différence se résume à la taille des échantillons prélevés, ce qui reste à confirmer en faisant un échantillonnage aléatoire dans les données de Giroux et Bédard (1988c) et en comparant ce sous échantillonnage avec les données récoltées en 2007.

Les équations développées en 2007, tout comme celles de Giroux et Bédard (1988c), surestimaient la biomasse aérienne, tandis que celles de Gouraud et *al.* (2008) la sous-estimaient. Giroux et Bédard (1988c) avaient proposé trois sources d'erreurs pouvant expliquer ces résultats: le dénombrement des tiges, la mesure de la hauteur des tiges et l'exactitude des relations allométriques. Nous croyons que le dénombrement des tiges n'est pas en cause dans ce cas-ci, puisque toutes les tiges présentes dans les quadrats étaient coupées au ras du sol au fur et à mesure et emballées soigneusement. Nous pensons également pouvoir éliminer la deuxième source d'erreur puisque nous prenions les mesures des tiges en observant une diagonale dans les quadrats afin de s'assurer que toutes les hauteurs possibles des tiges puissent être choisies aléatoirement. Cependant, nous aurions sans doute obtenu une meilleure précision en mesurant toutes les tiges présentes dans les quadrats (Gouraud et *al.* 2008). Il serait également intéressant de mesurer la largeur des tiges et d'intégrer ce paramètre dans le développement d'équations allométriques futures, puisque c'est aussi une variable morphologique importante de la variation de la biomasse aérienne (Gouraud et *al.* 2008). Finalement, même si nos équations allométriques étaient hautement significatives, nous pensons que le faible échantillonnage de végétation pourrait être en cause dans cette surévaluation. En effet, les équations développées dans les années 80 (Giroux et Bédard 1988c) ont été faites à partir d'un échantillonnage d'environ 1400 tiges de scirpe américain récoltées dans deux marais, tandis qu'en 2007, seulement 147 tiges ont été récoltées dans quatre marais. Il est pensable que le grand effectif de Giroux et Bédard (1988c) englobait une gamme plus large de différentes hauteurs de tiges, tandis que le petit échantillonnage de 2007 aurait pu apporter un biais en choisissant des tiges plus grandes. Alors pour contrer cette surestimation de la biomasse, nous avons développé des facteurs de correction.

En résumé, l'échantillonnage non destructif demeure la meilleure méthode pour faire le suivi à long terme de la végétation. Certains auteurs ont soulevé des doutes sur la fiabilité d'utiliser ce genre d'inventaire à cause des pertes de matériel végétal encourues au cours de la saison de croissance (Dickerman et *al.* 1986), mais les marais de l'estuaire sont exceptionnels puisque chaque année la végétation est rasée entièrement, ils sont soumis au jeu des marées deux fois par jour et que le scirpe américain a la particularité de n'avoir qu'une seule tige

principale diminuant ainsi les pertes (Giroux et Bédard 1988c). Néanmoins, advenant le cas où une étude semblable devait être répétée, nous croyons qu'il serait préférable de refaire un double échantillonnage afin d'établir de nouvelles équations allométriques puisque la croissance du scirpe varie d'une année à l'autre et que la hauteur est un paramètre influent. Nous croyons également qu'il faudrait récolter une plus grande quantité de tiges individuelles, pour augmenter la puissance des relations entre la hauteur des tiges et la masse, et intégrer la largeur des tiges dans la détermination de ces relations. De plus, la validation des modèles demeure essentielle en indiquant le besoin ou non de développer des facteurs de correction afin de corriger la surestimation ou la sous-estimation potentielle.

5.2 Facteurs influençant la croissance des principales macrophytes

5.2.1 Scirpe américain

En jumelant les données de Reed (1989), Lefebvre et *al.* (2000b) et nos données dans les parcelles broutées (stations R3, R4 et R5) correspondant au secteur de la Petite Ferme, nous constatons qu'à partir du milieu des années 70, une baisse constante de la densité des tiges de scirpe était observée dans ce secteur du marais de Cap Tourmente pour atteindre son plus bas niveau en 2000. Cependant nous observons une augmentation de la densité des tiges de scirpe à partir de 2002 qui se poursuit depuis ce temps (Fig. 5.2.1.1).

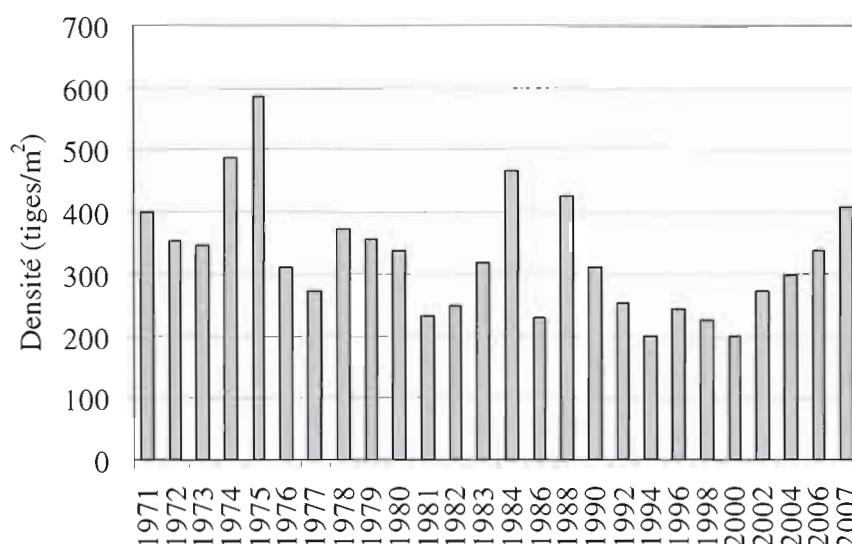


Figure 5.2.1.1 Densité (tiges/m²) du scirpe américain dans le secteur de la Petite Ferme à Cap Tourmente dans les parcelles broutées; jumelage des données de Reed (1989), Lefebvre et al. (2000b) et notre étude (2007).

La méthode d'échantillonnage de Reed (1989) ne permettait pas de dissocier l'effet des oies sur la productivité du scirpe des autres variables environnementales. La mise en place d'un système d'exclos a permis d'évaluer l'impact réel du broutement des oies. En comparant les deux méthodes, nous remarquons une grande différence de densité entre les parcelles broutées et non broutées dans le secteur de la Petite Ferme, 333 tiges/m² de plus dans les parcelles non broutées. Malgré une augmentation de la densité des tiges de scirpe américain dans l'ensemble du marais depuis 2002 (Fig. 5.2.1.1), la biomasse aérienne quant à elle a plutôt tendance à atteindre un plateau. La biomasse aérienne est certes plus élevée lorsque les oies sont exclues, mais après trois années d'exclusion la production aérienne se stabilise autour de 250 g/m² de scirpe. La biomasse aérienne dans les parcelles broutées est également restée stable (environ 125 g/m²), mais à un niveau inférieur. Nous constatons cependant que les biomasses aériennes des années 2000 sont légèrement inférieures à celles observées dans les années 70 (~194 g/m²) et 80 (~150 g/m²) (Doran 1981; Reed 1989). Les différentes variables biophysiques mesurées dans cette étude n'ont pas eu d'effets significatifs sur la production aérienne du scirpe américain tel que l'ont montré nos régressions multiples. Par contre, à Cap Tourmente, nous avons observé que la quantité de phosphore organique

présente dans les sédiments de la zone d'enracinement (entre 8 et 10 cm) avait un effet positif, c'est-à-dire que plus il y avait de phosphore organique, plus la biomasse aérienne du scirpe était élevée. Le phosphore est un facteur limitant la productivité des plantes, car il entre dans la composition des membranes cellulaires, des acides nucléiques et des systèmes de transfert d'énergie (Ricklefs et Miller 2005). Nos analyses ont montré une relation négative entre le phosphore organique et inorganique puisque la forme organique doit d'abord être convertie sous une forme inorganique par des microorganismes avant de pouvoir être utilisé par les plantes (Hopkins et Evrard 2003). L'accumulation de sédiments a un impact positif important sur la quantité de phosphore présente de même que le temps de submersion. Un temps de submersion plus long permet aux sédiments de s'accumuler au sol grâce aux tiges qui ralentissent le courant de l'eau et retiennent les particules en suspension (Sérodès et Troude 1984; Yang 1998). Il semble également que la nature du substrat soit corrélée avec la quantité de phosphore organique présente, l'argile présente dans le sol de Cap Tourmente semble moins bien retenir le phosphore organique (Turtola et Paajanen 1995). Les analyses de sol ont montré que les quantités de phosphore (total, inorganique et organique) étaient plus élevées dans les parcelles broutées, possiblement dues au fait que lorsque les oies creusent à la recherche des rhizomes de scirpe, elles favorisent le mélange des sédiments riches en éléments nutritifs qui se trouvent en surface avec la zone d'enracinement (Deschênes et Sérodès 1986). Malgré la quantité de phosphore total plus élevée dans les parcelles broutées, la biomasse aérienne du scirpe était tout de même plus grande dans les parcelles non broutées, suggérant ainsi que la pression du broutement des oies est beaucoup plus importante. Le principal changement observé à Cap Tourmente est la fréquentation du marais par les oies tant au printemps et qu'à l'automne (Fig. 5.2.1.2)

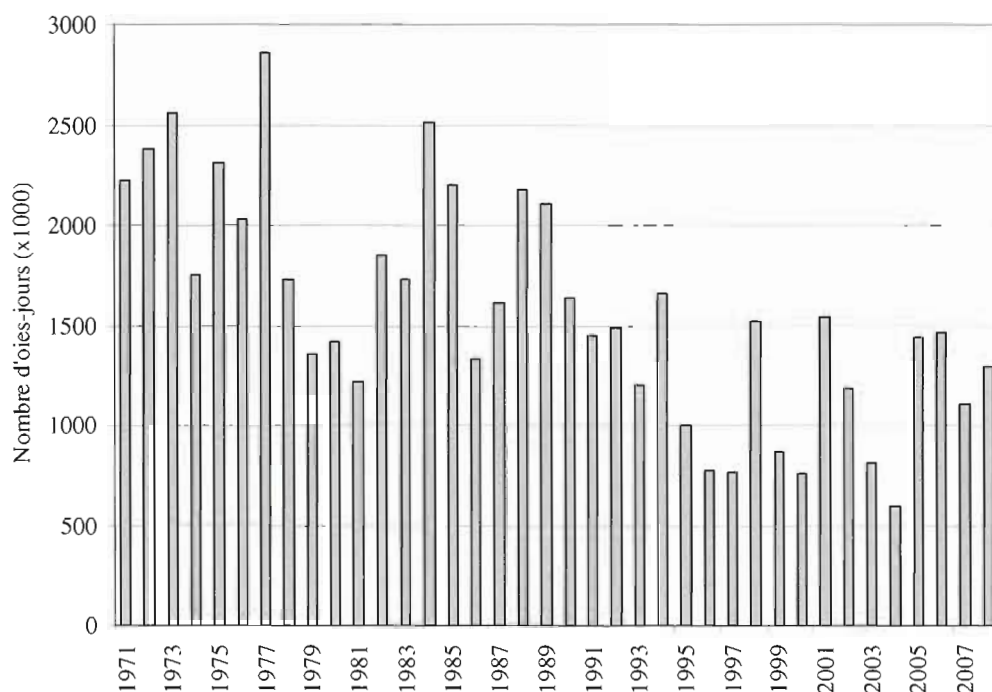


Figure 5.2.1.2 Nombre d'oies-jours au printemps et à l'automne fréquentant le marais à scirpe de la RNF du Cap Tourmente, 1971-2008 (SCF, données non publiées).

Le patron d'alimentation des oies a changé au cours des dernières années, s'alimentant de plus en plus dans les champs agricoles. Le marais à scirpe de Cap Tourmente est une halte importante dans la migration des oies, comme le démontre les millions d'oies-jours dénombrés entre 1971 et le milieu des années 80. Les oies ont étendu leur aire d'alimentation (Gauthier et *al.* 2005) expliquant ainsi la baisse que nous observons de 1989 à 2004 (Fig. 5.2.1.2). En 1999 une chasse printanière de conservation a été adoptée afin de diminuer la population grandissante de la GON (Béchet et *al.* 2003). Nous remarquons que le nombre d'oies-jours dénombrés à Cap Tourmente augmente après 2004, les oies étant chassées au printemps dans les champs agricoles de St-Joachim (en dehors de la RNF), cela pourrait les inciter à revenir fréquenter le marais de Cap Tourmente.

À Montmagny, nous avons observé une augmentation de la biomasse aérienne dans les parcelles non broutées entre 2004 et 2007. Après trois années d'exclusion nous arrivons

exactement à la même biomasse aérienne que celle évaluée après deux ans d'exclusion dans les années 80 (Giroux et Bédard 1987a). Cela pourrait signifier que la productivité maximale du marais se situe autour de 260 g/m^2 lorsqu'il n'y a pas de broutement des oies. Dans les parcelles broutées, nous n'avons observé aucun changement significatif de la biomasse aérienne au cours de l'étude. Par contre la production aérienne des années 2000 est inférieure à celle des années 80, soit environ 40 g/m^2 de moins en 2007 comparée à 1985 (Giroux et Bédard 1987a). En comparant les exclos et les témoins en 2007, nous trouvons une différence de 158 g/m^2 , alors que dans le milieu des années 80 la différence était de 95 g/m^2 (Giroux et Bédard 1987a). L'application de la chasse printanière dès 1999 et aussi d'un programme d'effarouchement intensif des oies dans les champs agricoles afin de diminuer les dommages causés par ces dernières a contribué à les repousser dans les zones non chassées des marais (Béchet et *al.* 2004). Cette utilisation additionnelle des marais au printemps pourrait expliquer la diminution globale de la production du scirpe américain.

À Cap St-Ignace les résultats sont très différents. D'abord la biomasse aérienne du scirpe y est plus faible qu'à Montmagny. La salinité augmente plus on se déplace vers l'est sur la rive sud du St-Laurent et nos résultats montrent que les stations à Cap St-Ignace sont submergées 48% du temps. En eau saumâtre, le scirpe tolère un temps de submersion variant entre 33 et 37% (Deschênes et Sérodes 1985). Un temps de submersion et une salinité plus élevés pourraient expliquer que la production globale du marais de Cap St-Ignace soit plus faible qu'à Montmagny. Ensuite dans les parcelles non broutées nous avons observé une augmentation de la biomasse aérienne après deux ans d'exclusion des oies tout comme Giroux et Bédard (1987a) après un an d'exclusion. Il semble également que nous atteignons un plateau au niveau de la production du scirpe autour de 180 g/m^2 , car la biomasse aérienne calculée en 2007 est exactement la même que celle calculée en 1984 (Giroux et Bédard 1987a). Dans les parcelles broutées la biomasse aérienne est demeurée stable au cours des années. De plus, lors de l'établissement du système d'échantillonnage en 2005, nous avions une biomasse aérienne un peu plus élevée que celle de 1983. Néanmoins au bout de trois ans, nous obtenons exactement les mêmes valeurs qu'en 1984, soit environ 130 g/m^2 . Ce qui représenterait la productivité du marais de Cap St-Ignace quand les oies sont présentes. La différence entre les parcelles broutées et non broutées en 2007 est sensiblement la même que

dans les années 80, soit environ 40 g/m^2 de moins (Giroux et Bédard 1987a). Au milieu des années 80, les oies fréquentaient beaucoup moins le marais de Cap St-Ignace que celui de Montmagny (Giroux et Bédard 1988b). Nous ne pouvons qu'assumer que c'est toujours la même situation qui prévaut entre les deux sites.

Il n'y avait jamais eu de suivi de la production de la végétation à l'Île-aux-Grues, qui représente une halte importante pour les oies au printemps et à l'automne (Limoges 2001). De plus, à l'Île-aux-Grues, comme la chasse n'est permise qu'en périphérie du marais à scirpe, possiblement que cela favorisait la concentration des oies au centre ayant comme conséquences un résultat un peu comme dans les zones non chassées de Montmagny ou Cap St-Ignace. Lorsque nous observons l'évolution de la biomasse aérienne du scirpe dans les parcelles broutées au cours des années, nous constatons qu'il n'y a pas de changement. La biomasse aérienne est restée stable à un niveau plus faible que les parcelles non broutées. D'ailleurs ces dernières ont vu leur biomasse aérienne augmenter significativement après deux ans d'exclusion des oies. Par contre, l'augmentation a tendance à atteindre un plateau autour de 200 g/m^2 , ce qui est légèrement plus faible que les marais à scirpe de Cap Tourmente et de Montmagny.

Même si nos résultats semblent indiquer que le broutement des oies est l'impact majeur sur la productivité des marais à scirpe de l'estuaire, lorsque nous regardons les biomasses aériennes du scirpe dans les parcelles non broutées, nous constatons que la production aérienne est plus élevée à Montmagny (256 g/m^2), ensuite à Cap Tourmente (247 g/m^2), l'Île-aux-Grues (207 g/m^2) et finalement Cap St-Ignace (174 g/m^2). Par contre, dans les parcelles broutées l'ordre n'est pas le même: Cap St-Ignace (129 g/m^2), Île-aux-Grues (116 g/m^2), Cap Tourmente (109 g/m^2) et Montmagny (98 g/m^2). Tout d'abord, nous nous attendions à une plus grande différence entre Montmagny et Cap Tourmente dans la production du scirpe dans les exclos. À Cap Tourmente les stations sont submergées plus longtemps qu'à Montmagny et la salinité est également plus élevée sur la rive nord du Fleuve ($20\,000 \text{ mg/kg}$) (Cap Tourmente et Île-aux-Grues) que sur la rive sud ($6\,500$ à $11\,000 \text{ mg/kg}$) (de Portneuf à Montmagny) (Deschênes et Sérodes 1985). De plus, nous avons observé une épaisseur d'environ 10 cm de sédiments dans le marais de Cap Tourmente, tout comme l'avait

également trouvé Sérodes et Troudes (1984), alors qu'à Montmagny l'épaisseur était d'environ 8 cm. Même si une accumulation plus élevée de sédiments riches en éléments nutritifs peut favoriser la productivité (Giroux et Bédard 1987b), l'accumulation totale des sédiments peut également la réduire, puisque la germination semble diminuer quand l'épaisseur varie entre 0.25 et 2 cm (Hartleb et *al.* 1993; Jurik et *al.* 1994; Wang et *al.* 1994). Les sédiments pourraient aussi agir comme une barrière physique qui empêcherait l'émergence des jeunes tiges et qui réduirait le taux d'oxygène, de lumière et de température nécessaire pour la germination (Giroux et Bédard 1995). Finalement, le substrat sablonneux présent dans le marais de Montmagny aurait dû favoriser beaucoup plus la productivité aérienne du scirpe (Giroux et Bédard 1987b; Hutchinson 1982) puisque le sable retient moins l'eau et qu'il permet la compaction du sol (Giroux 1991). Les oies préfèrent s'alimenter sur des substrats plus mous (Giroux et Bédard 1988b) et pourtant la différence entre les parcelles broutées et non broutées est plus élevée à Montmagny qu'à Cap Tourmente où l'on retrouve un substrat limoneux.

5.2.2 Zones chassées et non chassées

La présence des chasseurs dans certaines zones des marais a eu un effet significatif sur la biomasse aérienne du scirpe seulement à Cap St-Ignace, mais nos résultats suivaient les mêmes tendances que celles observées par Giroux et Bédard (1987a) à Montmagny et Cap St-Ignace. Les valeurs de biomasse aérienne calculées dans les années 2000 étaient sensiblement les mêmes que celles des années 80. À Montmagny, la différence entre les biomasses aériennes des parcelles broutées et non broutées dans les zones non chassées s'élevait à 62% (Giroux et Bédard 1987a) et en 2007 nous obtenons sensiblement le même pourcentage, soit 64%. Le nombre d'oies est plus élevé à l'automne qu'au printemps dans les marais et la présence des chasseurs fait en sorte que les oies se concentrent dans les zones non chassées et qu'elles utilisent les zones de chasse seulement la nuit (Giroux et Bédard 1988b) augmentant ainsi la pression du broutement sur le scirpe. Cela pourrait être également plus néfaste que l'utilisation printanière, puisqu'à l'automne le scirpe emmagasine des réserves dans ses parties souterraines pour assurer la croissance des prochaines tiges au printemps suivant (Giroux et Bédard 1987a).

À Cap St-Ignace, la différence n'était pas aussi forte, soit 28% en 1984 (Giroux et Bédard 1987a) et 36% en 2007. Nous avons également observé une plus grande biomasse aérienne dans les zones chassées au niveau des parcelles broutées, montrant ainsi la plus forte utilisation à l'automne des marais par les oies. La différence du nombre d'oies fréquentant les marais entre l'automne et le printemps est principalement due au changement dans les aires d'alimentation des oies. Au printemps, les oies s'alimentent de plus en plus dans les champs agricoles au lieu de se concentrer dans les marais de l'estuaire, relâchant ainsi la pression de broutement sur le scirpe américain (Gauthier et *al.* 1988). Comme nous l'avons mentionné précédemment, la réouverture de la chasse printanière a contribué à ramener les oies dans les marais. Le Service Canadien de la Faune s'attendait à voir augmenter la pression du broutement sur le scirpe (Lefebvre et *al.* 2000a) et nos résultats ont confirmé qu'effectivement le retour des oies dans les zones chassées au printemps a fait diminuer la biomasse aérienne comparativement à celle des années 80.

Le maintien des zones de chasse et de non-chasse est un bon moyen de gestion de la population de la GON, mais également de la pression de broutement de l'habitat. La présence des oies rapporte des milliers de dollars en retombées économiques pour les régions (observation, festivals, chasse). Leur présence dans certaines zones des marais contribuent aussi à attirer d'autres individus dans les marais augmentant les opportunités de récolte des chasseurs. Comme les oies fréquentent surtout les zones non chassées à l'automne, l'alternance des zones chassées et non chassées pourrait également contribuer à diminuer l'impact du broutement à long terme.

5.2.3 Sagittaire

Lorsque nous comparons l'évolution du nombre de plants de sagittaire dans les parcelles broutées, nous ne remarquons aucune augmentation ou diminution significative, tout comme l'avait observé Reed (1989) dans le secteur de la Petite Ferme. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la sagittaire ne constitue pas une partie importante de l'alimentation des oies (Gauthier et *al.* 2005; Giroux et Bédard 1988b). Les résultats sont très différents à Montmagny, puisque en 2007 la biomasse aérienne de la sagittaire présente dans les parcelles

non broutées et broutées a triplé depuis les dix dernières années (Giroux et Bédard 1987a). Par contre à Cap St-Ignace, elle est plutôt restée stable depuis les années 80, se maintenant autour de 15 g/m^2 . Nous ne croyons pas que cette augmentation soit attribuable à la présence des oies, mais plutôt à des facteurs abiotiques. L'augmentation significative de la sagittaire à Montmagny pourrait s'expliquer d'abord par la plus grande quantité de sédiments dans le marais, ce qui signifie une plus grande disponibilité d'éléments nutritifs pour les plantes. Les marais de Montmagny ont également le temps de submersion le plus faible par rapport aux autres marais. Le niveau de l'eau a une influence sur la composition et la productivité des espèces des milieux humides (Millar 1973; Lieffers et Shay 1981; McKee et Mendelssohn 1989; Hudon et al. 2003; Gouraud et al. 2008). Un niveau plus bas fait en sorte que les plantes sont moins longtemps immergées dans l'eau. Elles ont plus de luminosité pour la photosynthèse et donc une augmentation de leur taux de croissance (Lieffers et Shay 1981). À l'Île-aux-Grues, il est difficile de comparer avec d'autres études, puisque le marais n'a jamais été suivi auparavant. Par contre, en comparant avec les trois autres marais à l'étude, nous remarquons que les marais de l'Île-aux-Grues et de Montmagny possèdent les plus hautes biomasses aériennes de sagittaire. Ces deux marais ont une caractéristique particulière par rapport aux autres, c'est qu'ils sont traversés par des canaux assez larges drainant de bonnes quantités d'eau provenant de la berge. À l'Île-aux-Grues, il n'y a pas d'usine de traitement des eaux usées. Les habitations ont donc un système septique et comme le village date de 1860, il est fort probable que certaines résidences déversent directement leurs rejets sans traitement préalable dans l'estuaire, comme c'est le cas de certaines municipalités sur la rive nord du St-Laurent (Gagnon 1998). De plus, l'activité principale de cette île repose presque entièrement sur l'agriculture et l'exploitation de fermes laitières. Le ruissellement provenant des champs traités avec des engrais chimiques ou d'origine animale (fumier) accroîtrait l'apport en substances nutritives pour les plantes augmentant du coup leur croissance.

5.2.4 Zizanie aquatique

À la RNF de Cap Tourmente, la densité des plants de zizanie aquatique ne semble pas avoir varié depuis les trente dernières années (Reed 1989). Bien qu'Allard (2008) ait vu une

augmentation du pourcentage de recouvrement de la zizanie aquatique dans tous les marais à l'étude, nos résultats ne montrent pas d'augmentation de la densité des plants de cette espèce végétale. Par contre au niveau de la biomasse aérienne les résultats sont légèrement différents. En effet nous avons observé une augmentation significative en 2007 de la biomasse aérienne de la zizanie. Les valeurs observées dans les parcelles broutées sont sensiblement les mêmes pour cette espèce (106 g/m^2) et le scirpe américain (109 g/m^2), mais très différentes dans les parcelles non broutées, soit 83 g/m^2 et 247 g/m^2 , respectivement. Nous savons que ce qui influence le plus la biomasse aérienne c'est la densité, mais dans le cas de la zizanie, les équations allométriques tiennent également compte du nombre de tiges par plant. Il serait alors intéressant de vérifier si effectivement, bien que la densité des plants n'ait pas varié au cours des dernières années, le nombre de tiges par plant n'aurait pas augmenté. À Montmagny et Cap St-Ignace les biomasses aériennes de la zizanie sont restées stables dans les parcelles broutées et non broutées depuis les trente dernières années (Giroux et Bédard 1987a). Par contre, tout comme à Cap Tourmente, la biomasse aérienne de la zizanie est plus élevée dans les parcelles broutées que non broutées. La biomasse aérienne de la zizanie aquatique à l'Île-aux-Grues a certes diminué dans les parcelles non broutées au cours des années, mais elle est restée stable dans les parcelles broutées. Toutefois en comparant les parcelles broutées et non broutées, nous remarquons que la production aérienne est plus élevée dans les parcelles subissant le broutement des oies. La zizanie aquatique peut faire partie de la diète des oies lors de leur passage migratoire automnal (environ 10%) puisqu'au printemps il ne reste plus de tiges aériennes. Ainsi à l'automne quand elles se nourrissent de cette macrophyte, elles mangent principalement les graines et les tiges (Giroux et Bédard 1988b). L'impact du broutement des oies jumelé à certaines variables abiotiques peuvent expliquer cette augmentation de la biomasse aérienne dans les parcelles broutées. En se nourrissant des tiges et des graines, les oies favorisent la dispersions de ces dernières, car la zizanie se reproduit seulement par la germination de ses graines. Dans les Grands Lacs, il a été montré que lorsque le niveau d'éléments nutritifs augmentait et que la densité des plants restait stable, la production de graines chez le riz sauvage (*Zizania palustris*) augmentait (Lee 2002). Peut-être que le même phénomène se produit pour le riz sauvage (*Zizania aquatica*) dans les eaux saumâtres du St-Laurent. Plusieurs auteurs ont pointé que l'épaisseur des sédiments pouvait avoir une incidence sur

l'émergence des plantes (Hartleb et *al.* 1993; Jurik et *al.* 1994; Wang et *al.* 1994; Giroux et Bédard 1995), mais il semble que dans le cas de la zizanie l'épaisseur des sédiments ne représente pas une barrière physique pour la germination des graines (Durkee Walker et *al.* 2006). De plus, lorsque les oies creusent le sol à la recherche des rhizomes de scirpe, les trous laissés derrière se remplissent de sédiments liquides apportés avec les marées et cela favoriserait la germination des graines de la zizanie (Giroux et Bédard 1987a ; Bélanger et Bédard 1994b).

CHAPITRE VI

CONCLUSION

Les données récoltées au cours de cette étude ont permis d'observer que le broutement de la Grande Oie des Neiges a encore un impact sur la productivité des marais à scirpe américain de l'estuaire du St-Laurent. Bien que certaines variables biophysiques puissent également jouer un rôle sur la production végétale des marais, le broutement des oies reste la plus importante cause de variation. Depuis les dernières années, la taille de la population de la GON s'est stabilisée à environ un million d'individus (inventaire printanier). De plus, l'utilisation des marais de l'estuaire par les GON à l'automne est en diminution car elles passent proportionnellement plus de temps dans la région du Lac St-Jean et du sud-ouest du Québec (J. Lefebvre, SCF, comm. pers.) Nos résultats démontrent que le broutement des oies continue à maintenir la production des marais à scirpe sous leur potentiel, mais que malgré tout, l'intégrité des marais semble se maintenir. On se serait attendu à voir un effet plus grand de la présence des oies, puisque la présence des herbivores peut grandement bouleverser la communauté végétale (Crawley 1983). Hors nos résultats n'ont montré aucune variation au niveau de la composition des espèces, le scirpe étant toujours l'espèce dominante (quoiqu'à Cap Tourmente la tendance est moins forte). Nous n'avons pas trouvé non plus de changements dans l'environnement physique du scirpe, les oies n'ont pas modifié le substrat des parcelles en creusant à la recherche des rhizomes. À Montmagny et Cap St-Ignace la production du scirpe est stable et au même niveau qu'il y a vingt ans. À la RNF de Cap Tourmente la diminution de la densité des tiges observée depuis les années 70 s'est arrêtée et nous observons même une légère augmentation (Lefebvre et *al.* 2000b). En ce qui concerne l'Île-aux-Grues, nous ne disposons pas de données comparatives pour permettre un suivi de la production. Nos données serviront donc de référence pour des études futures.

Nous croyons qu'il faut poursuivre le suivi de la productivité des marais à scirpe dans les années futures afin de garantir une ressource suffisante pour soutenir la population des oies,

puisqu'elles génèrent de nombreuses retombées financières importantes, supplantant les dommages qu'elles peuvent causer au niveau des terres agricoles (Bélanger et Lefebvre 2006). L'approche de la télédétection permet de suivre les pourcentages de recouvrement des différentes espèces végétales, mais elle ne donne aucune information quantitative précise quant à la densité ou la productivité de ces macrophytes. C'est pourquoi il est important de garder la mise en place d'un échantillonnage saisonnier de la végétation. La mise en place annuellement et dans chaque marais d'un système d'échantillonnage tel qu'utilisé dans cette étude est laborieuse et dispendieuse, mais elle se révèle également être la seule technique possible permettant de dissocier l'effet du broutement des oies de l'impact des autres variables environnementales. Nous suggérons fortement de maintenir l'installation des exclos à tous les ans, mais croyons que l'échantillonnage de la végétation pourrait se faire qu'à tous les deux ou trois ans tout au plus afin de voir l'effet cumulatif des oies à long terme. Si malgré tout, l'aspect économique devait influencer le choix de la mise en place d'un tel système d'échantillonnage, nous conseillons de maintenir au moins la pose des exclos dans le marais de Cap Tourmente, puisqu'il bénéficie d'un statut RAMSAR. Les oies ont une grande influence sur la composition végétale des marais, mais également sur leur productivité. Les derniers recensements ont montré que la population est toujours en croissance et bien qu'elles semblent maintenant fréquenter beaucoup plus les champs agricoles qu'auparavant, l'instauration d'une chasse printanière a grandement contribué à les repousser dans les marais de l'estuaire augmentant du même coup la pression de broutement. Néanmoins, elles ne sont pas les seules à bouleverser l'écologie de ces écosystèmes. Par exemple, les changements climatiques risquent d'amener une remontée du front salin dans l'Est. De même que, les activités anthropiques, qui influencent la qualité des eaux et des sédiments du St-Laurent, sont aussi d'autres facteurs importants ayant un impact potentiel sur la production et l'intégrité des marais à scirpe de l'estuaire. Le suivi à long terme de la végétation des marais à scirpe est d'une grande importance entre autre pour la gestion de la Grande Oie des Neiges, mais également pour la sauvegarde de l'écosystème particulier qu'ils représentent.

APPENDICE A
CARTES

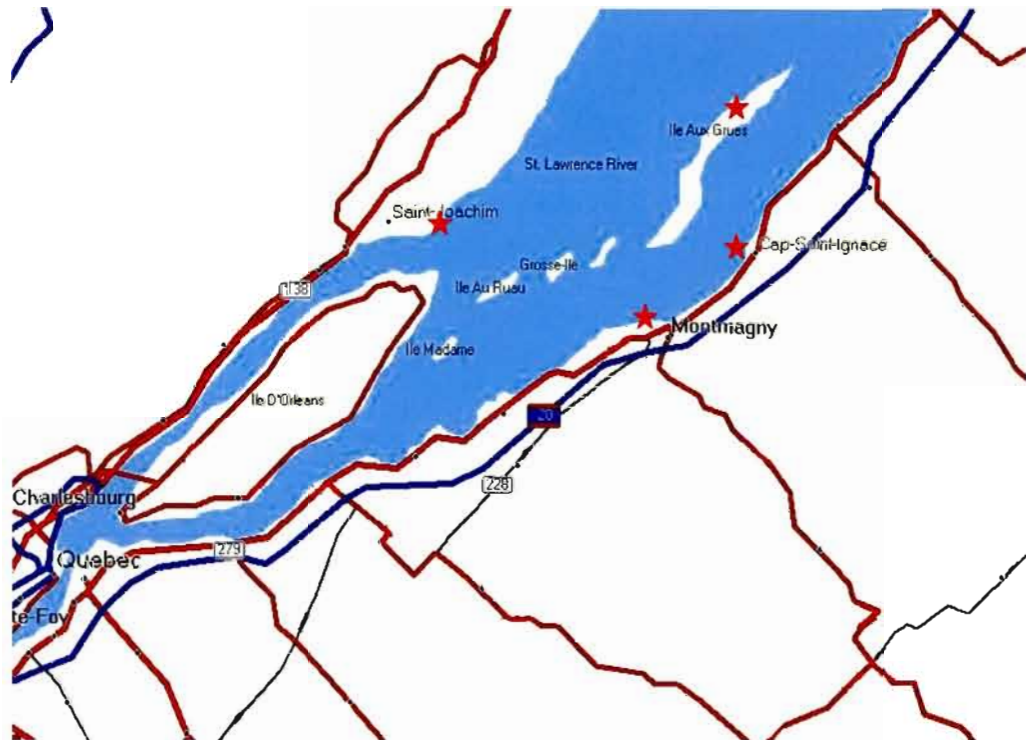


Figure A.1 Localisation des quatre sites d'échantillonnage de la végétation (Cap Tourmente, Montmagny, Cap St-Ignace et l'Île-aux-Grues) entre 2004 et 2007.

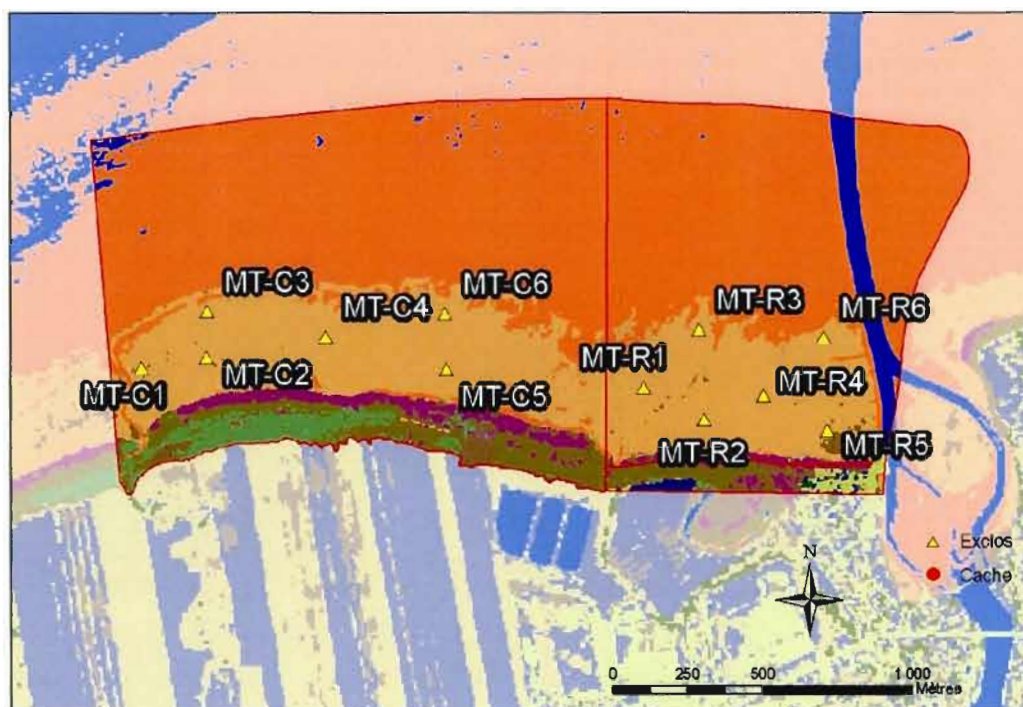


Figure A.3 Disposition des 12 exclos dans les deux zones (chasse (C) et repos (R)) à Montmagny de 2004 à 2007 (gracieuseté du SCF).

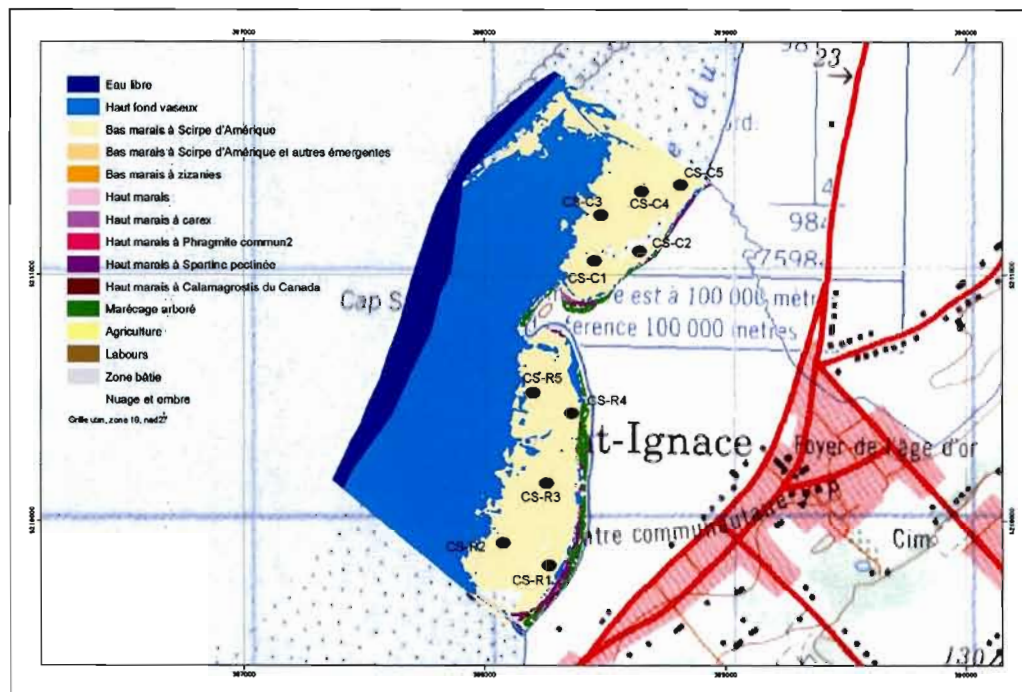


Figure A.4 Disposition des 10 exclos dans les deux zones (chasse (C) et repos (R)) à Cap St-Ignace de 2005 à 2007 (gracieuseté du SCF).

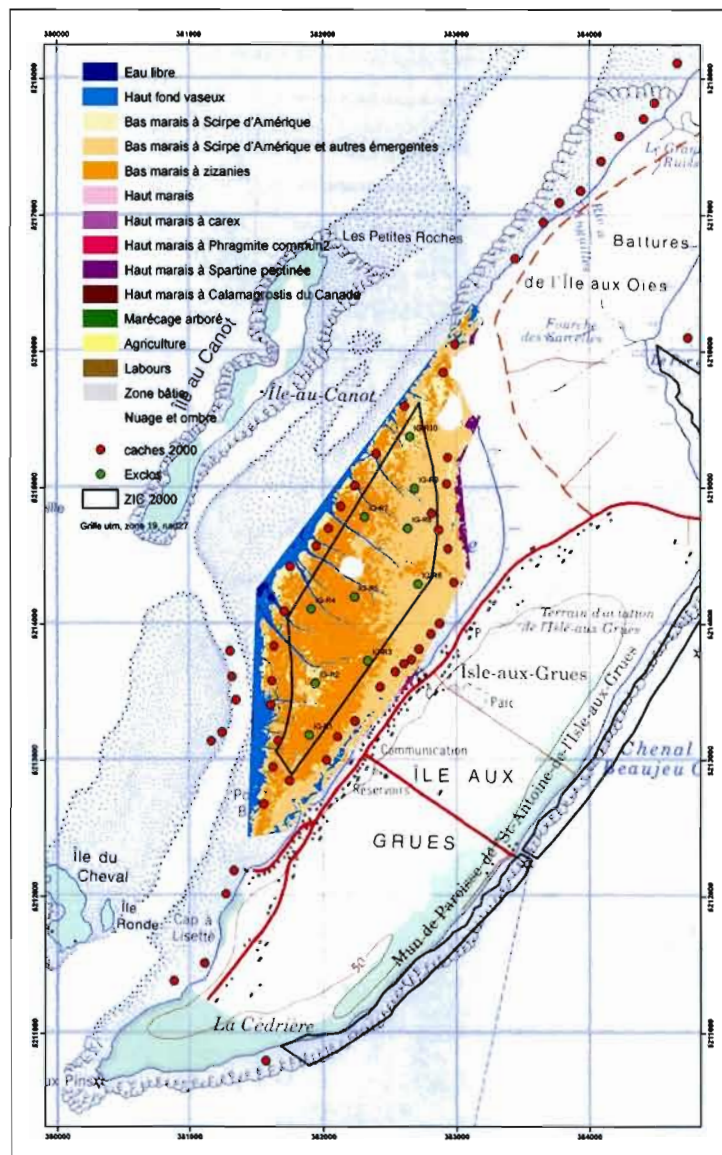


Figure A.5 Disposition des 10 exclos (points verts) dans la zone de repos à l'Île-aux-Grues de 2005 à 2007 (gracieuseté du SCF).

APPENDICE B
SCIRPE AMÉRICAIN

Tableau B.1 Densité (tiges/m²) des tiges de scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	231 ± 112	323 ± 317	16	0.7382
2005	CT	637 ± 344	466 ± 410	16	0.0197
2006	CT	729 ± 275	385 ± 201	16	0.0022
2007	CT	830 ± 470	492 ± 264	16	0.0053
2004	MT	288 ± 231	386 ± 499	12	0.5955
2005	MT	666 ± 622	392 ± 313	12	0.1275
2006	MT	739 ± 545	374 ± 220	12	0.0185
2007	MT	1001 ± 828	413 ± 314	12	0.0037
2005	CSI	490 ± 487	374 ± 379	10	0.1473
2006	CSI	661 ± 631	526 ± 503	10	0.2072
2007	CSI	829 ± 743	534 ± 440	10	0.1244
2005	IG	262 ± 290	269 ± 183	10	0.1428
2006	IG	620 ± 466	395 ± 175	10	0.3498
2007	IG	664 ± 344	426 ± 211	10	0.1428

* tests de t appariés

Tableau B.2 Hauteur (cm) des tiges de scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	100 ± 12	102 ± 12	14	0.617
2005	CT	93 ± 10	93 ± 14	16	0.753
2006	CT	93 ± 18	79 ± 17	16	0.006
2007	CT	84 ± 12	74 ± 13	16	0.000
2004	MT	90 ± 19	98 ± 18	12	0.007
2005	MT	75 ± 16	82 ± 17	11	0.247
2006	MT	83 ± 16	77 ± 16	12	0.204
2007	MT	78 ± 12	76 ± 13	11	0.399
2005	CSI	61 ± 24	74 ± 22	10	0.014
2006	CSI	91 ± 18	75 ± 25	9	0.055
2007	CSI	72 ± 20	74 ± 15	10	0.361
2005	IG	71 ± 19	91 ± 9	10	0.004
2006	IG	95 ± 12	85 ± 10	9	0.035
2007	IG	88 ± 7	81 ± 9	10	0.443

* tests de t appariés

Tableau B.3 Biomasse aérienne (g/m²) du scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	112 ± 37	161 ± 147	16	0.6838
2005	CT	229 ± 106	175 ± 125	16	0.0342
2006	CT	279 ± 132	128 ± 75	16	0.0015
2007	CT	271 ± 191	133 ± 49	16	0.0005
2004	MT	117 ± 79	147 ± 119	12	0.6585
2005	MT	192 ± 151	140 ± 108	12	0.2535
2006	MT	234 ± 132	125 ± 69	12	0.0167
2007	MT	281 ± 240	123 ± 81	12	0.0034
2005	CSI	101 ± 64	119 ± 102	10	0.4171
2006	CSI	220 ± 153	164 ± 127	10	0.1398
2007	CSI	199 ± 124	154 ± 111	10	0.6387
2005	IG	98 ± 90	115 ± 65	10	0.0847
2006	IG	260 ± 228	145 ± 81	10	0.4346
2007	IG	232 ± 121	140 ± 68	10	0.3345

* tests de t appariés

APPENDICE C

SAGITTAIRE

Tableau C.1 Densité (plants/m²) des plants de sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	38 ± 33	37 ± 24	16	1.0000
2005	CT	29 ± 22	17 ± 13	16	0.1710
2006	CT	38 ± 41	30 ± 33	16	0.6690
2007	CT	26 ± 32	22 ± 29	16	0.6720
2004	MT	32 ± 47	32 ± 51	12	0.9040
2005	MT	18 ± 14	30 ± 34	12	0.3440
2006	MT	42 ± 54	40 ± 48	12	0.8200
2007	MT	67 ± 55	50 ± 60	12	0.7130
2005	CSI	38 ± 22	35 ± 32	5	0.7500
2006	CSI	61 ± 35	47 ± 43	5	0.6250
2007	CSI	66 ± 54	105 ± 116	5	0.4380
2005	IG	84 ± 76	106 ± 67	10	0.4920
2006	IG	104 ± 94	127 ± 107	10	0.3750
2007	IG	91 ± 104	113 ± 89	10	0.5720

* tests de t appariés

Tableau C.2 Hauteur (cm) des plants de sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	59 ± 12	57 ± 10	15	0.2130
2005	CT	55 ± 12	56 ± 7	12	0.7330
2006	CT	58 ± 10	44 ± 14	10	0.0020
2007	CT	66 ± 14	61 ± 12	10	0.2750
2004	MT	57 ± 18	55 ± 15	6	0.5630
2005	MT	44 ± 12	56 ± 11	7	0.0160
2006	MT	45 ± 12	51 ± 12	7	0.0780
2007	MT	19 ± 12	57 ± 23	6	0.0310
2005	CSI	62 ± 6	60 ± 8	4	0.3750
2006	CSI	64 ± 3	60 ± 9	4	0.3750
2007	CSI	52 ± 2	48 ± 17	4	0.2500
2005	IG	43 ± 12	49 ± 9	10	0.3590
2006	IG	44 ± 8	44 ± 7	10	1.0000
2007	IG	41 ± 14	40 ± 9	8	0.3130

* tests de t appariés

Tableau C.3 Biomasse aérienne (g/m²) de la sagittaire spp. dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	18 ± 14	16 ± 11	16	0.4040
2005	CT	14 ± 16	8 ± 6	16	0.4950
2006	CT	18 ± 18	10 ± 12	16	0.0850
2007	CT	17 ± 17	13 ± 17	16	0.3590
2004	MT	26 ± 61	28 ± 60	12	0.5700
2005	MT	8 ± 8	19 ± 28	12	0.0740
2006	MT	14 ± 16	24 ± 28	12	0.4960
2007	MT	36 ± 39	32 ± 36	12	1.0000
2005	CSI	13 ± 16	11 ± 14	10	0.2500
2006	CSI	21 ± 26	16 ± 27	10	0.6250
2007	CSI	14 ± 19	22 ± 38	10	0.4380
2005	IG	21 ± 19	33 ± 25	10	0.3220
2006	IG	18 ± 18	25 ± 28	10	0.4320
2007	IG	18 ± 20	37 ± 46	10	0.2320

* tests de t appariés

APPENDICE D
ZIZANIE AQUATIQUE

Tableau D.1 Densité (plants/m²) des plants de zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	133 ± 58	152 ± 47	16	0.2310
2005	CT	60 ± 66	51 ± 36	16	0.9290
2006	CT	43 ± 63	72 ± 90	16	0.1530
2007	CT	51 ± 43	69 ± 38	16	0.2160
2004	MT	102 ± 69	99 ± 55	12	0.8420
2005	MT	18 ± 19	16 ± 21	12	0.3890
2006	MT	18 ± 21	10 ± 13	12	0.3360
2007	MT	8 ± 13	19 ± 19	12	0.1520
2005	CSI	11 ± 13	22 ± 30	9	0.2810
2006	CSI	19 ± 26	28 ± 24	9	0.2030
2007	CSI	10 ± 14	23 ± 22	9	0.1880
2005	IG	68 ± 68	40 ± 44	10	0.0470
2006	IG	38 ± 28	63 ± 54	10	0.2500
2007	IG	27 ± 20	45 ± 21	10	0.0120

* tests de t appariés

Tableau D.2 Hauteur (cm) des plants de zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	96 ± 9	102 ± 9	16	0.0400
2005	CT	90 ± 18.	86 ± 14	15	0.4970
2006	CT	85 ± 17	79 ± 10	12	0.5060
2007	CT	112 ± 16	109 ± 13	16	0.4450
2004	MT	87 ± 22	97 ± 14	11	0.2880
2005	MT	72 ± 21	79 ± 13	8	0.6410
2006	MT	67 ± 34	84 ± 23	5	0.6250
2007	MT	83 ± 23	107 ± 20	7	0.0310
2005	CSI	83 ± 28	76 ± 35	5	0.7500
2006	CSI	87 ± 23	83 ± 24	5	0.5000
2007	CSI	86 ± 43	94 ± 11	5	0.8130
2005	IG	66 ± 5	70 ± 11	10	0.3750
2006	IG	62 ± 10	62 ± 11	8	0.6410
2007	IG	77 ± 14	82 ± 10	9	0.1950

* tests de t appariés

Tableau D.3 Biomasse aérienne (g/m²) de la zizanie aquatique dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Cap Tourmente (CT), Montmagny (MT), Cap St-Ignace (CSI) et l'Île-aux-Grues (IG).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P*
2004	CT	123 ± 57	158 ± 45	16	0.0510
2005	CT	69 ± 75	53 ± 47	16	0.9000
2006	CT	36 ± 68	58 ± 66	16	0.1350
2007	CT	83 ± 77	106 ± 63	16	0.4330
2004	MT	79 ± 60	95 ± 58	12	0.4240
2005	MT	17 ± 19	19 ± 25	12	0.8500
2006	MT	14 ± 20	10 ± 11	12	0.7700
2007	MT	9 ± 15	34 ± 35	12	0.0640
2005	CSI	16 ± 20	29 ± 43	10	0.3130
2006	CSI	27 ± 40	33 ± 38	10	0.4690
2007	CSI	14 ± 19	22 ± 24	10	0.6880
2005	IG	47 ± 31	38 ± 32	10	0.2750
2006	IG	19 ± 17	30 ± 28	10	0.4920
2007	IG	21 ± 17	41 ± 20	10	0.0200

* tests de t appariés

APPENDICE E
SCIRPE DE TORREY

Tableau E.1 Densité (tiges/m²) des tiges de scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny (MT).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P
2004	MT	35 ± 50	104 ± 112	4	0.2084
2005	MT	357 ± 379	377 ± 603	4	0.9372
2006	MT	294 ± 475	458 ± 417	4	0.5223
2007	MT	229 ± 210	288 ± 274	4	0.6655

Tableau E.2 Hauteur (cm) des tiges de scirpe américain dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny (MT).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P
2004	MT	76 ± 51	72 ± 49	4	0.7500
2005	MT	43 ± 31	54 ± 39	4	0.2500
2006	MT	57 ± 39	58 ± 39	4	0.7500
2007	MT	56 ± 38	60 ± 40	4	1.0000

Tableau E.3 Biomasse aérienne (g/m²) du scirpe de Torrey dans les parcelles non broutées (exclos) et broutées (témoins) dans les marais à scirpe de Montmagny (MT).

An	Lieu	Moyenne exclos	Moyenne témoin	N	P
2004	MT	21 ± 22	52 ± 78	4	0.4551
2005	MT	100 ± 75	212 ± 359	4	0.5167
2006	MT	123 ± 190	217 ± 194	4	0.4600
2007	MT	109 ± 104	160 ± 172	4	0.5808

BIBLIOGRAPHIE

- ALLARD, M. 2008. Analyse spatio-temporelle de l'évolution des marais à scirpe de l'habitat migratoire de la Grande Oie des Neiges à l'aide de l'imagerie IKONOS et de photographies aériennes. Université de Sherbrooke, 147 pp.
- AUCLAIR, A.N.D., BOUCHARD, A. et J. PAJACKOWSKI. 1976. Plant standing crop and productivity relations in a *Scirpus-Equisetum* wetland. *Ecology*, 57(5): 941-952.
- BASKERVILLE, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2: 49-53.
- BÉCHET, A., GIROUX, J-F., GAUTHIER, G., NICHOLS, J.D. et J.E. HINES. 2003. Spring hunting changes the regional movements of migrating greater snow geese. *Journal of Applied Ecology*, 40(3): 553-564.
- BÉCHET, A., GIROUX, J-F. et G. GAUTHIER. 2004. The effects of disturbance on behaviour, habitat use and energy of spring staging snow geese. *Journal of Applied Ecology*, 41(4): 689-700.
- BÉLANGER, L. et J. BÉDARD. 1994a. Foraging ecology of greater snow geese, *Chen caerulescens atlantica*, in different *Scirpus* marshes plant communities. *Canadian Field-Naturalist*, 108: 271-281.
- , 1994b. Role of ice scouring and goose grubbing in marsh plant dynamics. *Journal of Ecology*, 82: 437-445.
- BÉLANGER, L. et J. LEFEBVRE. 2006. Plan de gestion intégrée durable de la Grande Oie des neiges au Québec: plan d'action 2005-2010. Service canadien de la faune, région du Québec, Environnement Canada, Sainte-Foy, 34pp.
- BERTRAND, P. 1990. Méthode de surveillance morpho-sédimentologique des marais à scirpe de l'estuaire du Saint-Laurent. Argus Groupe-Conseil, Environnement Canada, Service Canadien de la Faune, 52 pp.
- BOUCHARD, H. et P. MILLET. 1993. Le Saint-Laurent: milieux de vie diversifiés. Environnement Canada, Conservation et Protection, Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent », Rapport sur l'état du Saint-Laurent.
- BOUYOUCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.

CENTRE SAINT-LAURENT. 1996. Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1: L'écosystème du Saint-Laurent. Environnement Canada- région du Québec, Conservation de l'environnement- et Éditions MultiMondes, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent ».

CHAPMAN, V.J. 1938. Studies in Salt-Marsh Ecology Sections I to III. The Journal of Ecology, 26(1): 144-179.

CRAWLEY, M.J. 1983. Herbivory, the dynamics of animal-plant interactions. Studies in ecology volume 10. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. 437 pp.

DESCHÊNES, J. et J-B. SÉRODES. 1985. The influence of salinity on *Scirpus americanus* tidal marshes in the St. Lawrence river estuary. Canadian Journal of Botany, 63: 920-927.

-----, 1986. Recyclage des métaux et du phosphore par *Scirpus americanus* et *Spartina alterniflora* dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Québec). Le Naturaliste canadien, 113(2): 143-151.

DICKERMAN, J.A., STEWART, A. et R.G. WETZEL. 1986. Estimates of net aboveground production: sensitivity to sampling frequency. Ecology, 67: 650-659.

DIETERT, M.F. et J.P. SHONTZ. 1978. Germination ecology of a Maryland population of saltmarsh bulrush (*Scirpus robustus*). Estuaries, 1(3): 164-170.

DISRAELI, D.J. et R.W. FONDA. 1979. Gradient analysis of the vegetation in a brackish marsh in Bellingham Bay, Washington. Canadian Journal of Botany, 57(5): 465-475.

DORAN, M-A. 1981. Utilisation par la Grande Oie Blanche (*Anser caerulescens atlanticus*) de la végétation dans le marais intertidal de la Réserve nationale de Cap-Tourmente, Québec. Thèse présentée à l'école des gradués de l'Université Laval, 142 pp.

DRYADE, Le Groupe. 1981. Analyse des pertes de végétation riveraine le long du Saint-Laurent de Cornwall à Matane. Rapport présenté au Service Canadien de la Faune, Environnement Canada, région de Québec. 28pp.

DURKEE WALKER, R., PASTOR, J. et B.W. DEWEY. 2006. Effects of wild rice (*Zizania palustris*) straw on biomass and seed production in northern Minnesota. Canadian Journal of Botany, 84(6): 1019-1024.

ENVIRONNEMENT CANADA. 1978. Method for the analysis of total phosphorus, inorganic phosphorus and organic phosphorus in sediments. NAQUADAT. National Water Quality Database.

GAGNON, M. 1998. Bilan régional - Rive nord de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Zones d'intervention prioritaire 15 et 16. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. xx +74 pages.

- GAUTHIER, G., BÉDARD, Y. et J. BÉDARD. 1988. Habitat and activity budgets of greater snow geese in spring. *Journal of Wildlife Management*, 52: 191-201.
- GAUTHIER, G. et S. BRAULT. 1998. Population model of the Greater Snow Goose: projected impacts of reduction in survival on population growth rate. *The Greater Snow Goose: Report of the Arctic Goose Habitat Working Group* (ed. B.D.J.Batt), pp. 65-80. Arctic Goose Joint Venture Special Publication. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC and Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canada.
- GAUTHIER, G., GIROUX, J-F., REED, A., BÉCHET, A. et L. BÉLANGER. 2005. Interactions between land use, habitat use, and population increased in greater snow geese: what are the consequences for natural wetlands? *Global Change Biology*, 11: 856-868.
- GAUTHIER, G., GIROUX, J-F. et L. ROCHEFORT. 2006. The impact of goose grazing on arctic and temperate wetlands. *Acta Zoologica Sinica*, 52 (Supplement): 108-111.
- GILBERT, H. 1990. Éléments nutritifs (N et P), métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Hg) et productivité végétale dans un marais d'eau douce, Québec (Québec). *Canadian Journal of Botany*, 68: 857-863.
- GIROUX, J-F. 1991. Écologie et propagation du Scirpe américain. Rapport présenté au Service canadien de la Faune, Environnement Canada. Québec. pp. 1-63.
- GIROUX, J-F. et J. BÉDARD. 1987a. The effects of grazing by greater snow geese on the vegetation of tidal marshes in the St Lawrence estuary. *Journal of Applied Ecology*, 24: 773-788.
- , 1987b. Factors influencing aboveground production of *Scirpus* marshes in the St. Lawrence estuary, Québec, Canada. *Aquatic Botany*, 29: 195-204.
- , 1988a. Above- and below-ground macrophyte production in *Scirpus* tidal marshes of the St. Lawrence estuary, Québec. *Canadian Journal of Botany*, 66: 955-962.
- , 1988b. Use of bulrush marshes by greater snow geese during staging. *Journal of Wildlife Management*, 52(3): 415-420.
- , 1988c. Estimating above- and below-ground macrophyte production in *Scirpus* tidal marshes. *Canadian Journal of Botany*, 66: 368-374.
- , 1995. Seed production, germination rate, and seedling establishment of *Scirpus pungens* in tidal brackish marshes. *Wetlands*, 15(3): 290-297.

- GIROUX, J-F., BATT, B., BRAULT, S., COSTANZO, G., FILION, B., GAUTHIER, G., LUSZCZ, D. et A. REED. 1998. Conclusions and management recommendations. *The Greater Snow Goose: Report of the Arctic Goose Habitat Working Group* (ed. B.D.J.Batt), pp. 81-88. Arctic Goose Joint Venture Special Publication. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC and Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canada.
- GOURAUD, C., GIROUX, J-F., MESLÉARD, F. et L. DESNOUHES. 2008. Note Non-destructive sampling of *Schoenoplectus maritimus* in southern France. *Wetlands*, 28(2): 532-537.
- GRATTON, L. et C. DUBREUIL. 1990. Portrait de la végétation et de la flore du Saint-Laurent. Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Ministère de l'Environnement, Québec.
- HAMELIN, R. (sous la direction de). 1991. Restauration et création de marais à scirpes dans l'estuaire du Saint-Laurent en aval de Québec. Rapport final au Service canadien de la faune, Environnement Canada, Québec, Robert Hamelin et Associés Inc., 83 pp.
- HARTLEB, C.F.; MADSEN, J.D., et C.W. BOYLEN. 1993. Environmental factors affecting seed germination in *Myriophyllum spicatum* L. *Aquatic Botany*, 45(1): 15-25.
- HINDE, H.P. 1954. The Vertical Distribution of Salt Marsh Phanerogams in Relation to Tide Levels. *Ecological Monographs*, 24(2): 209-225.
- HOPKINS, W.G. et C-M. EVRARD. 2003. Physiologie végétale. 2^e édition. Éditions De Boeck Université, Bruxelles, Belgique. 532pp.
- HUDON, C., GAGNON, P., VIS, C., AMYOT, J.-P. et D. RIOUX. 2003. Models for Submerged Vegetation and Related Environmental Changes Induced by Discharge (Water Level) Variations in the St. Lawrence River (Québec, Canada). Rapport présenté à la Commission mixte internationale dans le cadre de l'Étude internationale sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent par le Groupe de travail technique sur l'environnement.
- HUTCHINSON, I. 1982. Vegetation-environment relations in a brackish marsh, Lulu Island, Richmond, B.C. *Canadian Journal of Botany*, 60: 452-462.
- JEAN, M., LÉTOURNEAU, G. et C. SAVAGE. 2005. Les milieux humides et les plantes exotiques en eau douce – 2^e édition. Environnement Canada – Région du Québec et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Fiche d'information de la collection « Suivi de l'état du Saint-Laurent ».
- JURIK, T.W., WANG, S.C. et A.G. VAN DER VALK. 1994. Effects of sediment load on seedling emergence from wetland seed banks. *Wetlands*, 14: 159-165.
- LECK, M.A. 1989. Wetland seed banks. In M.A. Leck, V.T. Parker, and R.L. Simpson (eds.) *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, Inc., New York, NY, USA. 290pp.

- LEE, P.F. 2002. Ecological relationships of wild rice, *Zizania* spp. 10. Effects of sediment among-population variations on plant density in *Zizania palustris*. Canadian Journal of Botany, 80(12): 1283-1294.
- LEFEBVRE, J., GIROUX, J-F., BÉLANGER, L. et A. REED. 2000a. Suivi de la végétation à scirpe de la Côte-du-Sud (1983-1999) et recommandations de conservation. Série de rapports techniques No. 355, Service canadien de la faune, Région du Québec.
- LEFEBVRE, J., REED, A., GIROUX, J-F., PLANTE, N. et L. BÉLANGER. 2000b. Suivi de la végétation du marais à scirpe de la Réserve nationale de faune du Cap Tourmente (1971-2000). Série de rapports techniques No. 371, Service canadien de la faune, Région du Québec.
- LIEFERS, V.J. 1983. Growth of *Typha latifolia* in boreal forest habitats, as measured by double sampling. Aquatic Botany, 15: 335-348.
- LIEFFERS, V.J. et J.M. SHAY. 1981. The effects of water level on the growth and reproduction of *Scirpus maritimus* var. *paludosus*. Canadian Journal of Botany, 59: 118-121.
- LIMOGES, B. 2001. ZICO de l'Île-aux-Grues, une île de nature et de culture. Plan de conservation. Union québécoise pour la conservation de la nature, Corporation de la sauvagine de l'Isle-aux-Grues, Fédération canadienne de la nature et Études d'oiseaux Canada. vi + 57 pp.
- MARQUIS, H., THERRIEN, J., BÉRUBÉ, P. et G. SHOONER. 1991. Modifications physiques de l'habitat du poisson en amont de Montréal et en aval de Trois-Pistoles, de 1945 à 1988, et effets sur les pêches commerciales. Rapport technique canadien des sciences halieutiques, n° 1830F.
- MCKEE, K.L. et I.A. MENDELSSOHN. 1989. Response of a fresh water marsh plant community to increased salinity and increased water level. Aquatic Botany, 34(4): 301-316.
- MENU, S., GAUTHIER, G. et A. REED. 2002. Changes in survival rates and population dynamics of greater snow geese over a 30-year period: implications for hunting regulations. Journal of Applied Ecology, 39: 91-102.
- MILLAR, J.B. 1973. Vegetation changes in shallow marsh wetlands under improving moisture regime. Canadian Journal of Botany, 51: 1443-1457.
- NOY-MEIR, I. 1975. Stability of grazing systems: an application of predator-prey graphs. Journal of Ecology, 63: 459-481.
- PALMISANO, A.W. 1971. The effect of salinity on the germination and growth of plants important to wildlife in the gulf coast marshes. Proc. 25th Ann. Conf. Southeastern Game and Fish Commission, pp. 215-223.

- PIGNOTTI, L. et L.M. MARIOTTI. 2004. Micromorphology of *Scirpus* (Cyperaceae) and related genera in south-west Europe. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 145: 45-58.
- REED, A. 1989. Use of a freshwater tidal marsh in the St. Lawrence estuary by greater snow geese. *Freshwater Wetlands and Wildlife*, CONF-8603101, DOE Symposium Series No. 61, R. R. Sharitz and J. W. Gibbons (Eds), USDOE Office of Scientific and Technical Information, Oak Ridge, Tennessee, pp. 605-616.
- REED, A., GIROUX, J-F. et G. GAUTHIER. 1998. Population size, productivity, harvest and distribution. *The Greater Snow Goose: Report of the Arctic Goose Habitat Working Group* (ed. B.D.J.Batt), pp. 5-31. Arctic Goose Joint Venture Special Publication. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC and Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canada.
- RICKLEFS, R.E. et G.L. MILLER. 2005. Écologie. 4^e édition. Éditions De Boeck Université, Bruxelles, Belgique. 821 pp.
- ROBITAILLE, J.A., VIGNEAULT, Y., SHOONER, G., POMERLEAU, C. et Y. MAILHOT. 1988. Modifications physiques de l'habitat du poisson dans le Saint-Laurent, de 1945 à 1984, et effets sur les pêches commerciales. *Pêches et Océans. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, n° 1608.
- SCHUYLER, A.E. 1974. Typification and application of the names *Scirpus americanus* Pers., *S. olneyi* Gray, and *S. pungens* Vahl. *Rhodora*, 76(805): 51-52.
- SELISKAR, D.M. 1988. Waterlogging stress and ethylene production in the dune slack plant, *Scirpus americanus*. *Journal of Experimental Botany*, 39(209): 1639-1648.
- SÉRODES, J.B. 1980. Étude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du St-Laurent. *Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures*, 28 pp.
- SÉRODES, J-B. et J-P. TROUDE. 1984. Sedimentation cycle of a freshwater tidal flat in the St. Lawrence estuary. *Estuaries*, 7(2): 119-127.
- SÉRODES, J.B., DESCHÊNES, J. et J-P. TROUDE. 1985. Temps de submersion des marais à scirpe (*Scirpus americanus*) de l'estuaire du Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 112: 119-129.
- SHUMWAY, S.W. et M.D. BERTNESS. 1992. Salt stress limitation of seedling recruitment in a salt marsh plant community. *Oecologia*, 92: 490-497.
- SMITH S.G. 1995. New Combinations in North American *Schoenoplectus*, *Bolboschoenus*, *Isolepsis*, and *Trichophorum* (Cyperaceae). *Novon*, 5: 97-102.
- SMITH, T.J. III et W.E. ODUM. 1981. The effects of grazing by snow geese on coastal salt marshes. *Ecology*, 62: 98-106.

SOKAL, R.R. et F.J. ROHLF. 1995. Biometry, the principles and practice of statistics in biological research. 3^e édition. W.H. Freeman and Company, New York, 887 pp.

STRICKLAND J.D.H. et T.R. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fishery Research Board, Canada. 310 pp.

TURTOLA, E. et A. PAAJANEN. 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management*, 28(4): 295-310.

WANG, S.C., JURIK, T.W. et A.G. VAN DER VALK. 1994. Effects of load sediment on various stages in the life and death of cattail (*Typha x glauca*). *Wetlands*, 14: 166-173.

YANG, S.L. 1998. The role of *Scirpus* marsh in attenuation of hydrodynamics and retention of fine sediment in the Yangtze estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47: 227-233.